УДК 553.411:531.734.5(470.111) DOI: 10.35597/2313-545X-2022-8-4-6

ЗОЛОТОНОСНОСТЬ БАЗАЛЬНЫХ КОНГЛОМЕРАТОВ ВЕРХНЕГО ДЕВОНА ПОЛУОСТРОВА КАНИН (НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ, РОССИЯ)

М.А. Павлова[1], Д.А. Варламов[2], С.М. Снигиревский[3,4], Д.В. Зархидзе[5], С.В. Петров[3], М.А. Рассомахин[1]

[1] *Институт минералогии, Южно-Уральский федеральный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; milana.a.pavlova@yandex.ru*

[2] *Институт экспериментальной минералогии РАН, ул. Академика Осипьяна 4, г. Черноголовка, Московская обл., 142432 Россия*

[3] *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9-11, 199034 Россия*

[4] *Ботанический институт РАН, ул. профессора Попова 2, г. Санкт-Петербург, 197376 Россия*

[5] *Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Средний пр. 74, г. Санкт-Петербург, 199106 Россия*

Статья поступила в редакцию 08.11.2022 г., принята к печати 19.12.2022 г.

GOLD POTENTIAL OF THE UPPER DEVONIAN BASAL CONGLOMERATES OF THE KANIN PENINSULA (NENETS AUTONOMOUS DISTRICT, RUSSIA)

M.A. Pavlova[1], D.A. Varlamov[2], S.M. Snigirevsky[3,4], D.V. Zarkhidze[5], S.V. Petrov[3], M.A. Rassomakhin[1]

[1] *Institute of Mineralogy, South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geology UB RAS, Miass, Chelyabinsk Region, 456317 Russia; milana.a.pavlova@yandex.ru*

[2] *Institute of Experimental Mineralogy RAS, ul. Akademika Osip'yana 4, Chernogolovka, Moscow district, 142432 Russia*

[3] *Saint-Petersburg State University, Universitetskaya nab. 7-9-11, St. Petersburg, 199034 Russia*

[4] *Botanical Institute RAS, ul. professora Popova 2, St. Petersburg, 197376 Russia*

[5] *Russian Geological Research Institute (VSEGEI), Sredniy pr. 74, St. Petersburg, 199106 Russia*

Received 08.11.2022, accepted 19.12.2022

Аннотация. Впервые описано шлиховое самородное золото и гранаты из грубозернистых отложений таяокуяхинской свиты верхнего девона, залегающих на размытых сланцах позднего рифея с угловым и азимутальным несогласием (среднее течение р. Мурсейяха, полуостров Канин, Ненецкий автономный округ, Россия). Особое внимание уделено индикаторам первичного источника сноса самородного золота для конгломератов верхнего девона. Состав слабо окатанных гранатов альмандин-спессартинового ряда указывает на их метаморфогенную природу и позволяет связать коренной источник самородного золота из конгломератов (D_3*tk*) с подстилающими метаморфизованными толщами рифея или же интрузивными породами в них. Самородное золото преимущественно неоднородного состава с примесью Ag, Cu и Hg. Слабая окатанность зерен самородного золота, отсутствие гипергенных кайм и сохранность минеральных включений в краевых частях свидетельствуют о его ближнем сносе. Примесь Cu позволяет предположить связь с породами основного/ультраосновного состава: метаморфизованными дайками долеритов нехайтеяхинского комплекса метагабброидов (mvβRF$_3$) или долеритовыми дайками канино-тиманского долеритового комплекса (βD_3*kt*), прорывающими докембрийские метаморфизованные сланцы. Установлено, что конгломераты девона являются промежуточными коллекторами для предполагаемого современного россыпеобразования.

Ключевые слова: самородное золото, гранат, базальные конгломераты, палеороссыпь.

Abstract. Native gold and garnets are described for the first time in heavy concentrates from coarse-grained sediments of the Upper Devonian Tayaokuyakha Formation, which occurs on the eroded Upper Riphean schists with angular and azimuthal unconformity (middle reaches of the Murseyakha River, Kanin Peninsula, Nenets autonomous district, Russia). Particular attention was paid to indicators of primary source of native gold for the Upper Devonian conglomerates. The composition of weakly rounded almandine-spessartine garnets indicates their metamorphic origin and allows us to relate the primary source of native gold in conglomerates (D_3*tk*) with underlying metamorphosed Riphean strata or intrusive rocks in them. Native gold is mainly characterized by a heterogeneous composition and contains Ag, Cu and Hg. The poorly rounded native gold grains, the absence of supergene rims and preservation of mineral inclusions in the margins indicate its proximal primary source. The presence of Cu suggests a link of native gold with mafic/ultramafic rocks: metamorphosed dikes of dolerites of the Nekhaiteyakha metagabbroid complex (mνβRF_3) or dolerite dikes of the Kanin-Timan complex (βD_3*kt*), which intrude the Precambrian metamorphic schists. It is established that the Devonian conglomerates are intermediate reservoirs for the possible present-day placer formation.

Keywords: native gold, garnet, basal conglomerates, intermediate reservoirs.

Введение

В пределах полуострова Канин (Ненецкий автономный округ, Россия) проводились геологосъемочные (масштаб 1:50 000, 1:200 000) и тематические работы, в ходе которых были зафиксированы проявления самородного золота (Пачуковский, 1968ф; Горностай и др., 1984ф; Кочетков, Алексеев, 1986ф-1988ф; Розанов, 1989ф; Черемхина, 1996ф). Общим выводом этих работ стало установление связи практически всех геохимических аномалий и пунктов минерализации благородного металла с табуевской серией верхнего рифея (мадахинская, подлейская и горелорецкая свиты) (Оловянишников, 2004). Исключением являются выявленные Канинской и Несской геологосъемочными партиями шлиховые ореолы (1–2 знака) в породах юрского возраста в пределах рр. Бол. Надтей и Падлей; геохимическая аномалия Au в межформационном контакте падлейской свиты рифея и силурийских отложений (содержание Au 0.03 г/т); а также два знака самородного золота в конгломератах таяокуяхинской свиты верхнего девона, обнажающихся на юго-западном склоне кряжа Канин Камень в приустьевой части речек Таяокуяха (или Талянаяха) и Немозягуяха (или Немазямаяха) (Горностай и др., 1984ф; Черемхина, 1996ф).

В 2018 г. Отделом региональной геологии и полезных ископаемых полярных и приполярных территорий ФГБУ «ВСЕГЕИ» проведены полевые работы на юго-востоке п-ова Канин в бассейнах рек Таяокуяха и Мурсейяха, в ходе которых особое внимание было уделено терригенным отложениям верхнего девона. В ходе работ был вскрыт межформационный контакт метаморфизованных сланцев мадахинской свиты верхнего рифея и терригенных пород таяокуяхинской свиты верхнего девона в нижнем течении р. Таяокуяха (Зархидзе и др., 2019, Павлова и др., 2018). В шлиховых пробах из слаболитифицированных конгломератов таяокуяхинской свиты верхнего девона были выявлены знаки самородного золота, но, в отличие от предшественников, они были обнаружены на северо-восточном склоне кряжа Канин Камень, в обоих бортах долины реки Мурсейяха. Вследствие того, что самородное золото таяокуяхинской свиты ранее описано не было, целью данной работы является определение его морфологических особенностей и химического состава, а также прогнозирование возможного материнского коренного источника.

Материалы и методы исследований

Фактическим материалом послужили более 40 образцов пород, отобранных по разрезам вдоль рек Таяокуяха, Немозягуяха, Мурсейяха, а также пять мелкообъемных проб (50–100 л) шлиховых проб со среднего течения р. Мурсейяха. Пробы обрабатывались до серого шлиха, который впоследствии был разделен на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции. Из шлиховых проб выделено 12 зерен самородного золота. Для иссле-

Для цитирования: Павлова М.А., Варламов Д.А., Снигиревский С.М., Зархидзе Д.В., Петров С.В., Рассомахин М.А. Золотоносность базальных конгломератов верхнего девона полуострова Канин (Ненецкий автономный округ, Россия). Минералогия, **8**(4), 94–109. DOI: 10.35597/2313-545X-2022-8-4-6

For citation: Pavlova M.A., Varlamov D.A., Snigirevsky S.M., Zarkhidze D.V., Petrov S.V., Rassomakhin M.A. Gold potential of the Upper Devonian basal conglomerates of the Kanin peninsula (Nenets autonomous district, Russia). Mineralogy, **8**(4), 94–109. DOI: 10.35597/2313-545X-2022-8-4-6.

дования их внутреннего строения и состава зерна были помещены в эпоксидную шайбу, отполированы и проанализированы в 34 точках. Для определения состава гранатов исследовано 39 зерен из шести образцов конгломератов таяокуяхинской свиты. В результате получены 105 анализов состава гранатов. Изучение и фотографирование петрографических шлифов и аншлифов осуществлялись при помощи бинокулярного микроскопа Leica DFC450, а иследование морфологических особенностей и выполнение объемных фотографий зерен самородного золота – посредством цифрового микроскопа Leica DVM 5000 в РЦ СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования».

Электронно-зондовый микроанализ, включающий получение изображений минералов во вторичных и отраженных электронах, а также рентгеноспектральный локальный микроанализ выполнялся на цифровых электронных сканирующих микроскопах Tescan VEGA-II XMU с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450 и спектрометром с волновой дисперсией Oxford INCA Wave 700 (Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Черноголовка) и Vega-3 Tescan с ЭДС Oxford Instruments X-act (Южно-Уральский федеральный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс). Микроскопы оснащены YAG (иттро-алюминиевые гранаты) детекторами вторичных и отраженных электронов и энергодисперсионными рентгеновскими микроанализаторами с полупроводниковым Si (Li) детектором Oxford Instruments INCA Energy.

В статье приняты следующие сокращения: Ab – альбит, Amf – амфибол, An – анортит, Ap – апатит, Apy – арсенопирит, Au – золото, Bt – биотит, Chl – хлорит, Cob – кобальтин, Ep – эпидот, Grt – гранат, Hem – гематит, Ilm – ильменит, Kfs – калиево-натриевый полевой шпат, Ky – кианит, Leu – лейкоксен, Mnz – монацит, Ms – мусковит, Px – пироксенит, Py – пирит, Q – кварц, Rt – рутил, Ser – серицит, Sil – силлиманит, Stvr – ставролит, Sulf – сульфиды, Ttn – титанит (сфен), Tur – турмалин, Zrn – циркон, нм – немагнитная фракция, эм – электромагнитная фракция.

Краткие сведения о геологическом строении района

Полуостров Канин входит в состав Тимано-Печорской эпибайкальской плиты (Гецен, 1975). Стратифицированные образования представлены породами широкого возрастного диапазона (от позднепротерозойских до четвертичных) и подразделяются на два структурных этажа. Нижний структурный этаж – внешняя зона тиманид – выходит на дневную поверхность на севере полуострова в пределах осевой части кряжа Канин Камень (Канинского горста). Он сложен метаморфизованными в зеленосланцевой и амфиболитовой фациях терригенными и карбонатно-терригенными отложениями рифея (Оловянишников, 2004). Верхний структурный этаж сформирован осадочными толщами фанерозойского чехла, включающего в себя слабо деформированные отложения нижнесилурийского–нижнемелового возраста. Отложения фанерозоя неравномерно перекрыты неоген-четвертичными отложениями мощностью от первых метров на самом кряже до 120 м в его прогибах (Черемхина, 1996ф). В работе рассматривается участок, расположенный в юго-восточной части полуострова Канин (рис. 1).

Результаты работ

Геологическое строение участка работ. В пределах исследованного участка обнажаются преимущественно терригенно-карбонатные породы палеозоя (силур-пермь) и терригенные породы мезозоя (триас-мел), причем толщи практически всех подразделений залегают друг на друге с несогласием за исключением пермских отложений, согласно залегающих на камменноугольных (рис. 1). Предметом нашего исследования являются девонские отложения, перекрывающие с резким размывом и угловым несогласием метаморфические породы рифея и терригенно-карбонатные образования нижнего силура. Распространены отложения девона на п-ове Канин ограниченно, преимущественно, на обоих склонах юго-восточной части хребта Канин Камень. На юго-западном склоне породы девонского возраста обнажаются на востоке Ойвинской губы в нижнем течении (приустьевой части) рр. Таяокуяха, Немозягуяха и руч. Безымянного, протекающего между ними. Здесь за счет хорошей обнаженности береговых склонов, регулярно подмываемых морскими приливами и крутым (до субвертикального) залеганием пластов (в среднем <60°; азимут падения 215°), вскрывается практически непрерывный разрез таяокуяхинской свиты (рис. 2а) (Безносов и др., 2019). В отличие от пород юго-западного склона хребта Канин Камень, породы девонского возраста, обнажающиеся в более глубинной части полуострова, на северо-восточном склоне в районе

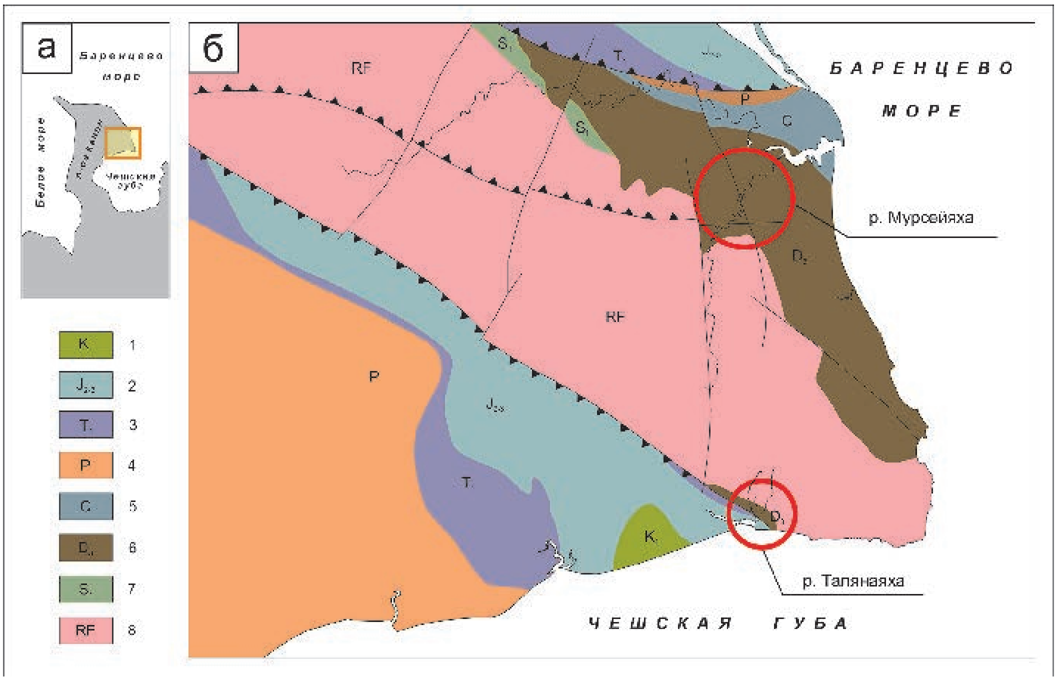

Рис. 1. Схема геологического строения юго-восточной части полуострова Канин (по Горностай и др., 1984ф; Черемхина, 1996ф с дополнениями). Кругами выделены участки работ, где разрез таяокуяхинской свиты обнажается наиболее полно.

1 – меловая система, нижний отдел, терригенные породы; 2 – юрская система, средний и верхний отделы, терригенные отложения; 3 – триасовая система, нижний отдел, терригенные породы; 4 – пермская система, преимущественно известняки; 5 – каменноугольная система, преимущественно известняки; 6 – девонская система, верхний отдел, франский ярус, базальты, терригенные отложения; 7 – силурийская система, нижний отдел, известняки; 8 – рифей, тархановская и табуевская серии, метаморфические сланцы и кварцитопесчаники.

Fig. 1. Scheme of geological structure of the southeastern part of the Kanin Peninsula, modified after (Gornostai et al., 1984; Cheremkhina, 1996). Circles highlight the working areas, where the section of the Tayaokuyakha Formation is the most complete.

1 – Lower Cretaceous, terrigenous rocks; 2 – Middle and Upper Jurassic, terrigenous rocks; 3 – Lower Triassic, terrigenous rocks; 4 – Permian, mainly limestone; 5 – Carboniferous, mainly limestone; 6 – Upper Devonian, Frasnian Stage, basalt, terrigenous rocks; 7 – Lower Silurian, limestone; 8 – Riphean, Tarkhanov and Tabuev groups, metamorphic schist and quartzite sandstone.

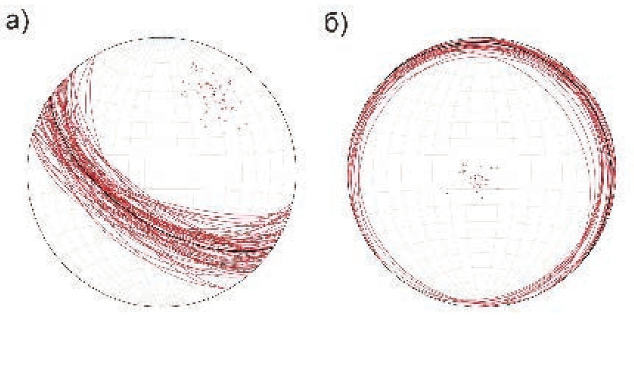

Рис. 2. Стереографические проекции измерений элементов залегания верхнедевонских конгломератов, песчаников и алевролитов таяокуяхинской свиты (D_3*tk*) на нижнюю полусферу по рр. Таяокуяха и Немозягуяха и ручью Безымянный (а, 59 измерений) и р. Мурсейяха (б, 35 измерений).

Fig. 2. Stereographic projections of bedding elements of the Upper Devonian conglomerate, sandstone and siltstone of the Taiokuyakha Formation (D_3*tk*) on the lower hemisphere along Tayaokuyakha and Nemozyaguyakha rivers and Bezymyanny Creek (а, 59 measurements) and Murseiyakha River (б, 35 measurements).

среднего течения рр. Рыбная и Мурсеяха, залегают субгоризонтально (в среднем <6°; азимут падения 43°) (рис. 2б).

В целом, разрезы таяокуяхинской свиты на обоих склонах хребта хорошо сопоставляются, поэтому в данной статье представлена литологическая колонка по р. Таяокуяха, где за счет залегания пород под крутым углом можно проследить наиболее достоверные мощности литологических разностей (рис. 3).

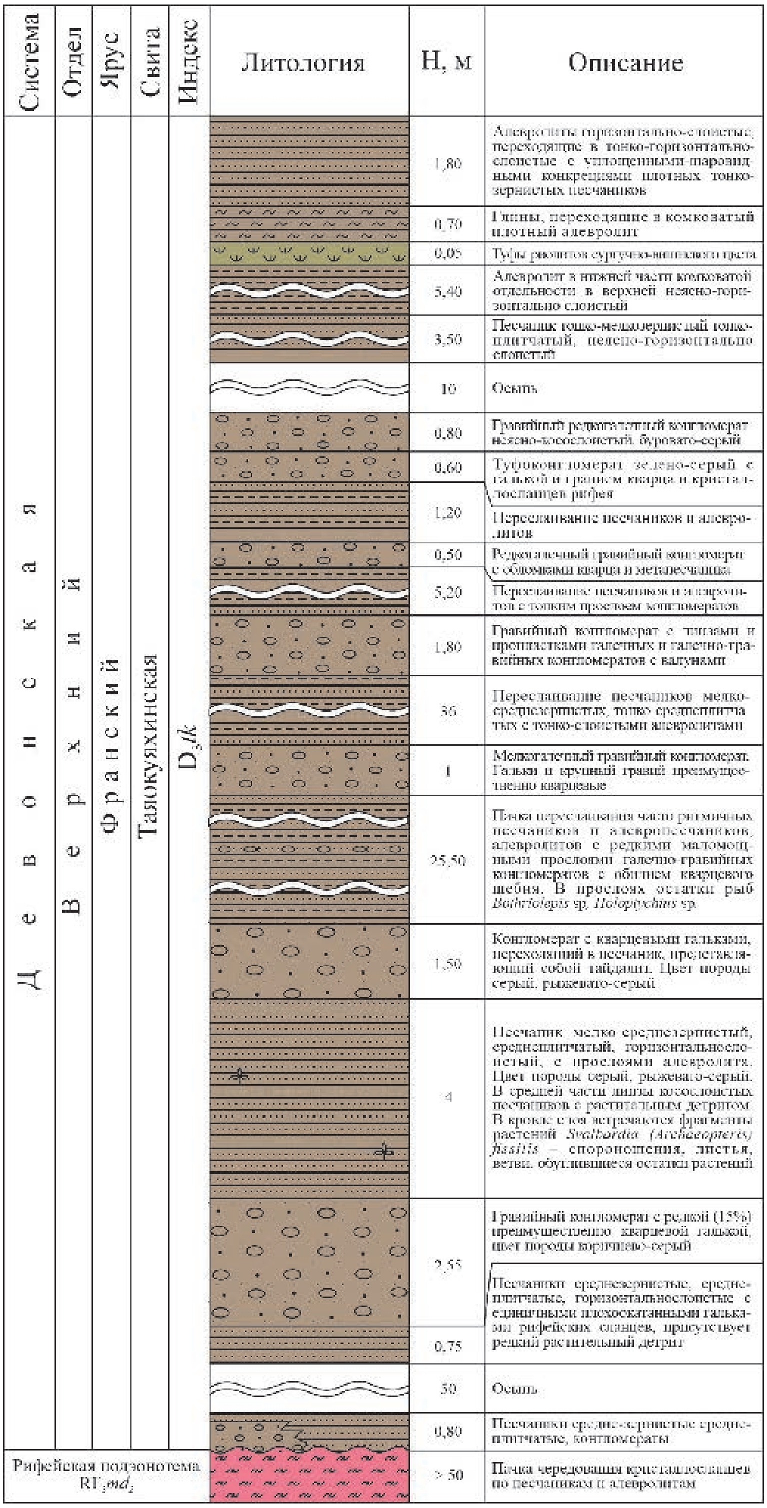

Рис. 3. Литологическая колонка разреза таяокуяхинской свиты (D_3tk), р. Талянаяха, руч. Безымянный, р. Немазямаяха, юго-западный склон хребта Канин Камень.

Fig. 3. Lithological column of cross-section of the Tayaokuyakha Formation (D_3tk), Talyanayakha River, Bezymyanny Creek, Nemazyamayakha River, southwestern slope of the Kanin Kamen Range.

Таяокуяхинская свита (D_3tk, франский ярус) представлена ритмичным чередованием конгломератов, гравелитов, песчаников, алевролитов, глин. Породы залегают с резким угловым и азимутальным несогласием на сланцах мадахинской свиты (RF_3md, табуевская серия). Отложения таяокуяхинской свиты с постепенным переходом согласно перекрываются породами немозягуяхинской свиты (D_3nm, франский ярус).

Общая усредненная характеристика отдельных литологических типов разреза таяокуяхинской свиты следующая:

– алевролиты кварцево-слюдистые средне-, тонкоплитчатые, тонкослоистые, листоватые, реже комковато-массивные. Цвет от малиново-серого до сине-серого, иногда встречаются буро-рыжие разводы ожелезнения. На поверхностях напластования часто видны определимые растительные остатки – *Archaeopteris macilenta, Svalbardia (A.) fissilis, S. polymorpha*; в углистых разностях встречены отпечатки стеблей *Helenia karakubensis* (опр. С.М. Снигиревского). Растения имеют средне-верхнедевонский, преимущественно, франский возраст. Мощность прослоев составляет от 5 см до 2 м.

– песчаники кварцевые, полевошпат-кварцевые слюдистые, иногда с существенной примесью граната (до 60 об. %), преимущественно, мелко-среднезернистые, среднеплитчатые, горизонтально-слоистые. Цвет от розовато-серо-бурого до голубовато-серого. Здесь встречены остатки рыб разной сохранности – *Glyptolepis* sp., который характерен для живетских и франских отложений, *Bothriolepis sp., Holoptychius sp.* (опр. П.А. Безносова), а также спороношения, листья и ветки *Svalbardia (Archaeopteris) fissilis* (опр. С.М. Снигиревского) (Безносов и др., 2019). Мощность прослоев составляет от 5 см до 4 м.

– конгломераты массивные, редко с косой слоистостью, цвет варьирует от голубовато-зеленовато-серого до рыжего, красно-рыжего. Обломочная часть (5–60 об. %) представлена гальками молочно-белого, дымчатого кварца, фрагментами подстилающих метаморфических пород, обломка-

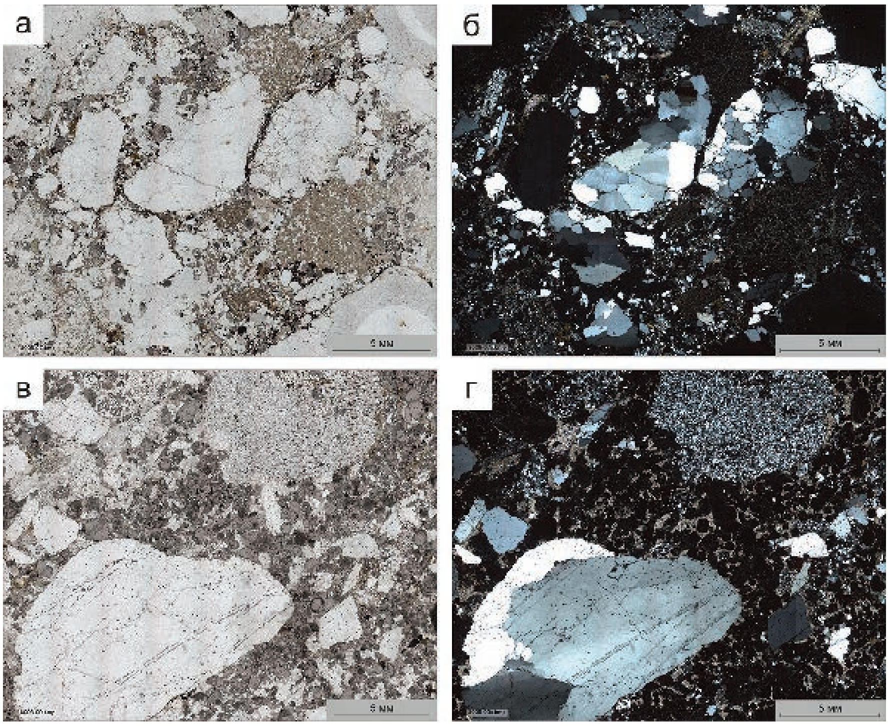

Рис. 4. Конгломерат с карбонатным цементом и высоким содержанием граната: а, в – без анализатора; б, г – с анализатором.

Fig. 4. Conglomerate with a high amount of garnet and carbonate matrix: а, в – without analyzer. б, г – with analyzer.

ми долеритов, а также гальками алевролитов с растительными остатками *Archaeopteris* (*Svalbardia*) *fissilis* (опр. С.М. Снигиревского). Гальки в породе распределены неравномерно. Матрикс в большинстве случаев сложен крупнозернистым хлорит-биотит-мусковит-кварц-гранатовым песчаником с редкими обломками пород (кварцитов, слюдистых сланцев рифея и долеритов) и карбонатным, реже халцедоновым, цементом (рис. 4). Мощность прослоев составляет от 20 см до 3 м.

Состав шлихов и морфологические особенности самородного золота. Породы девонского и четвертичного возрастов, из которых отобраны шлиховые пробы на р. Мурсейяха, представлены коренными наиболее грубообломочными породами, существенно кварцевыми конгломератами, а также современными аллювиальными отложениями вблизи коренных выходов пород девона (рис. 5). В тяжелой минеральной фракции из пород таяокуяхинской свиты преобладают сульфиды (пирит), циркон, рутил, гранат, из четвертичных отложений – циркон, рутил, ильменит и гранат (табл. 1). Практически во всех шлихах встречены зерна монацита, а также выявлены знаки самородного золота. В самородном золоте нередко встречаются минеральные включения ильменита, хлорита, альбита, кобальтина, биотита, кварца. Часть включений располагается в краевых частях зерен.

В шлиховой пробе 2013-01 обнаружено два знака самородного золота (рис. 6а). Зерна плохо окатанные, изометрические, слегка уплощенные длиной 120 и 140 мкм, на поверхностях наблюдаются вмятины и царапины, полученные в процессе переноса.

Из шлиха 2014-01 извлечено наибольшее количество (шесть) золотин. Размер зерен варьирует от 110 до 400 мкм. Зерно 1 является сростком с ильменитом, кварцем, слюдой (ряда флогопит–биотит) (рис. 6б). Окатанность зерна слабая, форма изометричная вытянуто-уплощенная. Зерно 2 имеет форму параллелепипеда, слабую окатанность и многочисленные тонкие царапины. Для него характерен красноватый налет. На поверхности зерна примеси не установлены. Зерно 3 более уплощенное, имеет округлые следы вдавливания (ямки), внутри покрытые красно-бурой пленкой. Окатанность зерна слабая, однако наиболее выступающие части несколько сглажены. Зерно 4 средней окатанности, форма округло-изометричная, неровная, имеются неглубокие «складки». Зерно 5 имеет вытянутую по од-

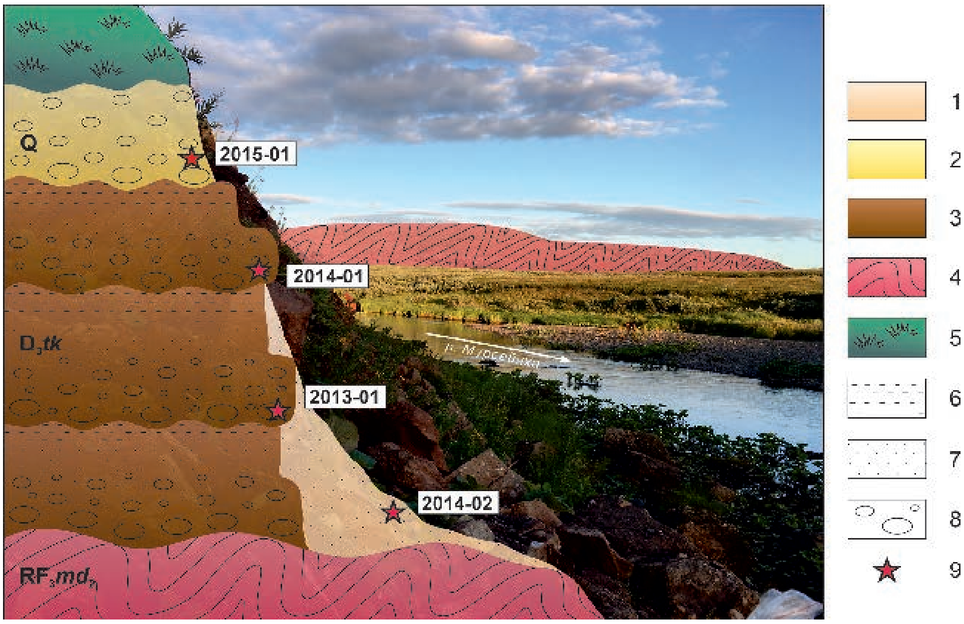

Рис. 5. Схематический разрез терригенных отложений с местами отбора шлиховых проб, р. Мурсейяха.

1 – современные аллювиальные отложения; 2 – консолидированные четвертичные терригенные отложения; 3 – терригенные отложения девонского возраста; 4 – метаморфизованные отложения докембрия; 5 – дерн; 6 – алевролит; 7 – песчаник; 8 – конгломерат; 9 – место отбора шлиховых проб.

Fig. 5. Schematic cross-section of terrigenous sediments with sampling areas for heavy concentrates, Murseyakha River.

1 – present-day alluvial sediments; 2 – consolidated Quaternary terrigenous sediments; 3 – Devonian terrigenous rocks; 4 – Precambrian metamorphosed rocks; 5 – turf; 6 – siltstone; 7 – sandstone; 8 – conglomerate; 9 – sampling place of mineral concentrates.

Таблица 1

Минеральный состав шлихов, отобранных в бортах р. Мурсейяха

Table 1

Mineral composition of heavy concentrates sampled along the Murseiyakha River

Номер	Объем, л	Фрак-ция	Главные >5 %	Второстепенные 1–5 %	Редкие <1 %	Знаки золота
2014-02	50	нм эм	Rt, Zrn, Py, Ap Grt, Ilm	Leu, Grt, Tu Amf, Px	Au, Ky, Tit, Apy Mon, Leu	2
2014-01	100	нм эм	Zrn, Rut, Py Ilm, Px, Amf, Grt	Tu, Ap, Leu Hem	Apy, An, Au –	6
2013-01	100	нм эм	Sulf, Zrn, Ap, Rt Ilm	Leu Grt, Px, Amf	An, Grt, Ky, Au Sulf, Mon	2
2015-02	100	нм эм	Zrn, Ru Ilm. Grt	Ap, Leu Px, Amf	Sil, Tu, An, Py, Tit, Au Mon, Ep, Sulf	2
2015-01	100	нм эм	Zrn, Rt Grt, Ilm	Ky, Ap Amf, Px, Hem	An, Py, Leu, Tit, Grt Leu, Mon	–

ной оси форму. Окатанность средняя. Наблюдаются красноватые следы окисления сульфидов. Зерно 6 окатанное, имеет каплевидную форму, и неглубокие вмятины с красновато-бурым налетом внутри.

Шлих 2014-02 был отмыт из современных аллювиальных отложений р. Мурсейяха в непосредственной близости от коренных выходов конгломератов таяокуяхинской свиты, объем пробы составлял 50 л. Размер зерен самородного золота 350 и 500 мкм (рис. 6в). Зерно 1 сильно уплощенное и вытянутое. Зерно 2 менее вытянуто и сплющено, в целом имеет изометричную форму.

Шлих 2015-02 получен из пробы объемом 100 л, отобранной в среднем течении р. Мурсейяха в правом борту долины предположительно из четвертичных гравийных конгломератов, перекрывающих

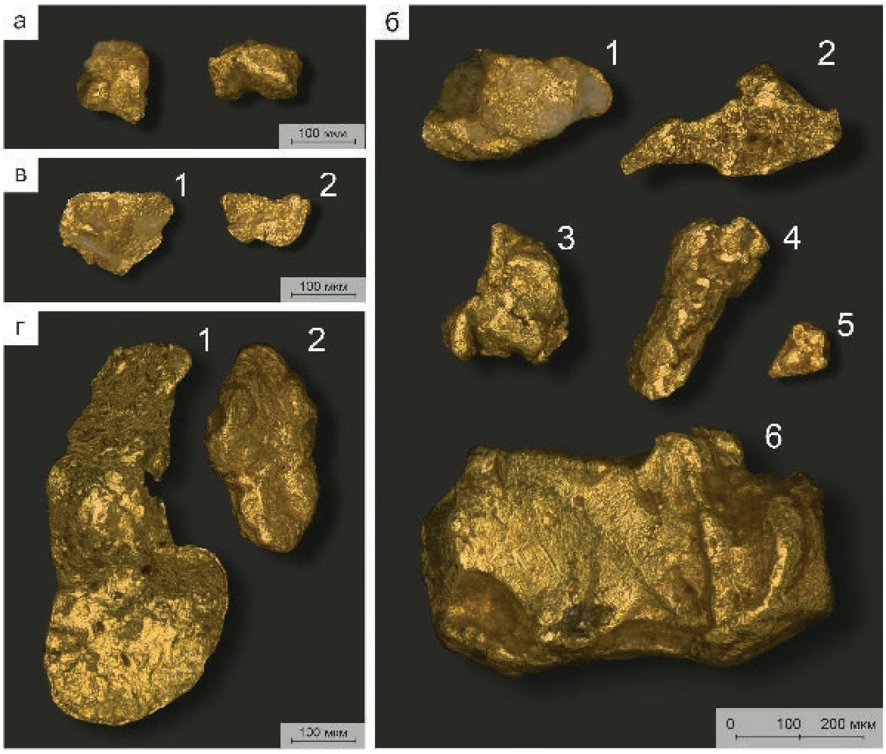

Рис. 6. Самородное золото из шлиховых проб коренных делитифицированных конгломератов девонского возраста (а – проба 2013-01; б – проба 2014-01), четвертичного возраста (в – проба 2015-01) и современных аллювиальных отложений (г – проба 2014-02).

Fig. 6. Native gold from heavy concentrates of primary delithified conglomerates of the Devonian (а – sample 2013-01; б – sample 2014-01), Quaternary age (в – sample 2015-01) and present-day alluvial deposits (г – sample 2014-02).

верхнедевонские песчаники таяокуяхинской свиты. В шлихе выявлено два знака самородного золота (рис. 6г) размером 140 и 200 мкм. Зерно 1 представляет собой тонкую пластинку полукруглой формы со следами небольшого смятия. Зерно 2 изометричное, средне окатанное.

В целом для зерен самородного золота из всех проб отмечается одинаковый ярко-желтый цвет с красным оттенком. Морфологические особенности зерен самородного золота в пробах отличаются: золотины из пород девонского возраста имеют более изометричную форму, а из пород четвертичного возраста – уплощенную.

Состав самородного золота. Внутреннее строение зерен самородного золота чаще неоднородное, с отдельными более низкопробными зонами (рис. 7). Первичная зональность обусловлена изменением содержания Ag, Cu и Hg. Границы зон четкие, извилистые, иногда угловатые. Более низкопробные зоны расположены как в центральных частях зерен, так и в краевых (на СЭМ-фото в режиме BSE более темные участки зерен соответствуют более низкопробному золоту, более светлые – более высокопробному). В одном зерне обнаружены также зоны с более высокой пробностью относительно основной массы (левое зерно на рис. 7б). Они имеют пористое строение и расположены в краевой части зерна.

По составу самородное золото высокой и средней пробности (Петровская, 1973). Все проанализированные зерна самородного золота содержат Ag (до 24.81 мас. %), Cu (до 0.50 мас. %) и Hg (до 2.66 мас. %) (табл. 2, рис. 8). Золото из современных отложений характеризуется самой высокой пробностью (951–1000 ‰): Au 93.80–97.00 мас. %, Ag 0.00–2.78 мас. %, Cu 0.00–0.47 мас. %, Hg 0.00–1.69 мас. %. Самородное золото из конгломератов четвертичного возраста имеет несколько более низкую пробность (924–990 ‰), преимущественно, за счет более высокого содержания Ag : Au 90.99–98.76 мас. %, Ag 1.03–6.73 мас. %, Cu 0.00–0.50 мас. %, Hg 0.00–0.65 мас. %. Состав золота из девонских конгломератов широко варьирует, перекрывая вариации состава золота из более молодых отложений: Au 74.04–100.63 мас. %, Ag 0.00–24.81 мас. %, Cu 0.00–0.40 мас. %, Hg 0.00–2.66 мас. % (рис. 8).

Характеристика гранатов из конгломератов таяокуяхинской свиты. Одной из особенностей кон-

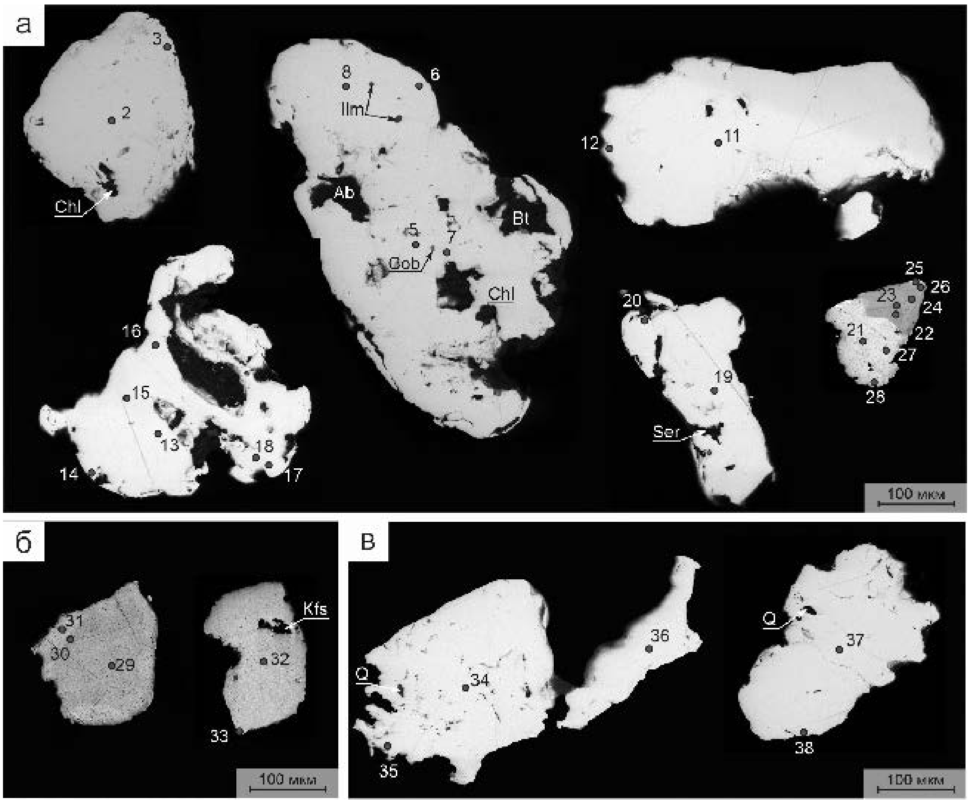

Рис. 7. Зерна золота из шлиховых проб девонских коренных делитифицированных конгломератов (а), четвертичных конгломератов (б) и современных аллювиальных отложений (в). Составы точек анализов приведены в табл. 2.

BSE-фото.

Fig. 7. Native gold grains from heavy concentrates of the Devonian primary delithified conglomerates (a), Quaternary conglomerates (б) and present-day alluvial sediments (в). The compositions of analytical points are given in Table 2.

BSE-images.

гломератов является повсеместное присутствие минералов группы гранатов. Содержание граната в шлихах превышает 20 %, а в образцах горных пород – до 50 %.

Гранаты розовые, зерна размером 0.2–1.0 мм, средней и слабой окатанности, на срезах часто встречаются их шестиугольные идиоморфные сечения. Зачастую кристаллы разбиты сетью трещин, нередко встречаются только отдельные фрагменты ранее целых зерен. В шлифах обнаружены ротационные структуры/структуры снежного кома (рис. 9б).

Гранаты подразделяются на два типа по внутреннему строению зерен: тип I – без зональности или со слабо проявленной зональностью, тип II – с резко проявленной зональностью. В зональных гранатах отчетливо наблюдается резкое уменьшение содержания Mn и Fe при увеличении содержания Ca от центра к кайме (рис. 10) с разницей содержаний элементов в центральной части и в кайме до нескольких массовых процентов (табл. 3, ан. 1–5, 8–11). Визуально гомогенные зерна гранатов значительно более однородны по составу, присутствуют только небольшие изменения состава от центра к кайме (табл. 3, ан. 6, 7, 12–16).

Несмотря на то, что все гранаты по составу принадлежат ряду альмандин–спессартин (табл. 3), однако на диаграмме MnO–CaO–FeO видны небольшие различия. Гранаты типа I и краевые части гранатов типа II имеют идентичный состав, тогда как центральные части гранатов типа II отличаются меньшим содержанием Ca при повышенном содержании Mn и Fe (рис. 10).

Обсуждение результатов

На протяжении длительного промежутка времени (с раннего кембрия по силур) территория подвергалась эрозии. Последовавшая затем трансгрессия моря привела к образованию фрагментарно сохранившихся на рифейском основании карбонатных отложений силура, а также значительных по мощности базальных отложений верхнего девона (Черемхина, 1996ф). В последних отмечаются зна-

Таблица 2

Химический состав самородного золота из девонских и четвертичных конгломератов и современных аллювиальных отложений (мас. %)

Table 2

Chemical composition of native gold from the Devonian and Quaternary conglomerates and present-day alluvial deposits (wt. %)

№ п/п	№ спектра	№ зерна	Au	Ag	Cu	Hg	Сумма	Формула
1	2	1	98.23	0.17	0.00	0.00	98.40	$Au_{99.68}Ag_{0.32}$
2	3		98.95	0.44	0.36	0.80	100.55	$Au_{97.34}Cu_{1.09}Ag_{0.79}Hg_{0.78}$
3	5	4	100.63	0.38	0.16	0.46	101.63	$Au_{98.38}Ag_{0.69}Cu_{0.49}Hg_{0.45}$
4	6		99.49	0.91	0.33	0.00	100.73	$Au_{97.37}Ag_{1.62}Cu_{1.00}$
5	7		91.33	9.23	0.07	0.00	100.63	$Au_{84.26}Ag_{15.54}Cu_{0.20}$
6	8		97.85	2.14	0.15	0.00	100.14	$Au_{95.72}Ag_{3.82}Cu_{0.47}$
7	11	5	93.95	6.26	0.33	0.00	100.54	$Au_{88.28}Ag_{10.74}Cu_{0.98}$
8	12		91.29	6.17	0.06	1.37	98.89	$Au_{87.72}Ag_{10.82}Hg_{1.29}Cu_{0.16}$
9	13	6	99.40	0.00	0.17	0.00	99.57	$Au_{99.49}Cu_{0.51}$
10	14		95.35	0.22	0.40	0.70	96.67	$Au_{97.62}Cu_{1.27}Hg_{0.70}Ag_{0.41}$
11	15		88.08	7.76	0.24	0.43	96.51	$Au_{85.16}Ag_{13.70}Cu_{0.73}Hg_{0.41}$
12	16		92.39	5.50	0.10	0.32	98.31	$Au_{89.68}Ag_{9.74}Hg_{0.30}Cu_{0.29}$
13	17		99.78	0.43	0.24	0.00	100.45	$Au_{98.49}Ag_{0.77}Cu_{0.74}$
14	18		91.10	7.31	0.00	0.00	98.41	$Au_{87.22}Ag_{12.78}$
15	19	8	96.74	0.05	0.18	2.66	99.63	$Au_{96.73}Hg_{2.61}Cu_{0.57}Ag_{0.09}$
16	20		97.33	0.72	0.00	0.37	98.42	$Au_{98.30}Ag_{1.33}Hg_{0.37}$
17	21	9	96.06	1.36	0.14	1.16	98.72	$Au_{95.97}Ag_{2.48}Hg_{1.14}Cu_{0.41}$
18	22		77.00	20.18	0.26	0.00	97.44	$Au_{67.16}Ag_{32.15}Cu_{0.69}$
19	23		74.04	24.81	0.00	0.00	98.85	$Au_{62.04}Ag_{37.96}$
20	24		81.90	15.61	0.00	0.89	98.40	$Au_{73.60}Ag_{25.62}Hg_{0.78}$
21	25		80.97	16.50	0.00	0.56	98.03	$Au_{72.52}Ag_{26.99}Cu_{0.27}$
22	26		79.27	18.96	0.10	0.00	98.33	$Au_{69.42}Ag_{30.32}Cu_{0.27}$
23	27		76.58	21.09	0.00	0.41	98.08	$Au_{66.30}Ag_{33.35}Hg_{0.35}$
24	28		97.73	0.99	0.07	0.00	98.79	$Au_{97.96}Ag_{1.82}Cu_{0.22}$
25	29	10	90.99	6.73	0.50	0.22	98.44	$Au_{86.62}Ag_{11.70}Cu_{1.48}Hg_{0.21}$
26	30		91.62	6.42	0.00	0.06	98.10	$Au_{88.61}Ag_{11.33}Hg_{0.06}$
27	31		97.30	1.03	0.00	0.00	98.33	$Au_{98.11}Ag_{1.89}$
28	32	11	92.05	4.32	0.10	0.65	97.12	$Au_{91.24}Ag_{7.81}Hg_{0.63}Cu_{0.32}$
29	33		98.76	2.08	0.00	0.02	100.86	$Au_{96.27}Ag_{3.71}Hg_{0.02}$
30	34	12	97.72	0.00	0.00	0.00	97.72	Au_{100}
31	35		97.99	0.02	0.16	0.00	98.17	$Au_{99.48}Cu_{0.48}Ag_{0.03}$
32	36		97.76	0.24	0.00	0.11	98.11	$Au_{99.44}Ag_{0.46}Hg_{0.11}$
33	37	13	95.98	2.78	0.13	0.43	99.32	$Au_{94.21}Ag_{4.97}Cu_{0.41}Hg_{0.41}$
34	38		93.80	2.66	0.47	1.69	98.62	$Au_{92.17}Ag_{4.77}Hg_{1.64}Cu_{1.43}$

Примечание. Номера точек анализов соответствуют точкам на рис. 7. Зерна 1, 4, 5, 6, 8 и 9 – девонские конгломераты, 10 и 11 – четвертичные конгломераты, 12 и 13 – современные аллювиальные отложения.

Note. Numbers of analyses correspond to points in Fig. 7. Grains 1, 4, 5, 6, 8 and 9 – Devonian conglomerates, 10 and 11 – Quaternary conglomerates, 12 and 13 – present-day alluvial deposits.

чительные концентрации граната и единичные зерна самородного золота.

Гранат является одним из минералов-индикаторов условий образования пород (Соболев, 1964; Konrad-Schmolke et al., 2008; Tian et al., 2019; Jiang et al., 2020). Большая часть центральных зон исследованных нами зональных зерен граната (тип II), а также небольшая часть гомогенных гранатов (тип I) отвечают по составу гранатам метаморфических пород (рис. 11). Осадочные толщи докембрия, слагающие хребет Канин Камень, подверглись региональному метаморфизму эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций (Гецен, 1975; Горностай и др., 1984ф), в результате чего образовались гранаты альмандинового состава. Структуры захвата (двойной спирали) в гранатах подтверждают их генетическую принадлежность к метаморфическим породам, т. к. они возникают в результате вращения

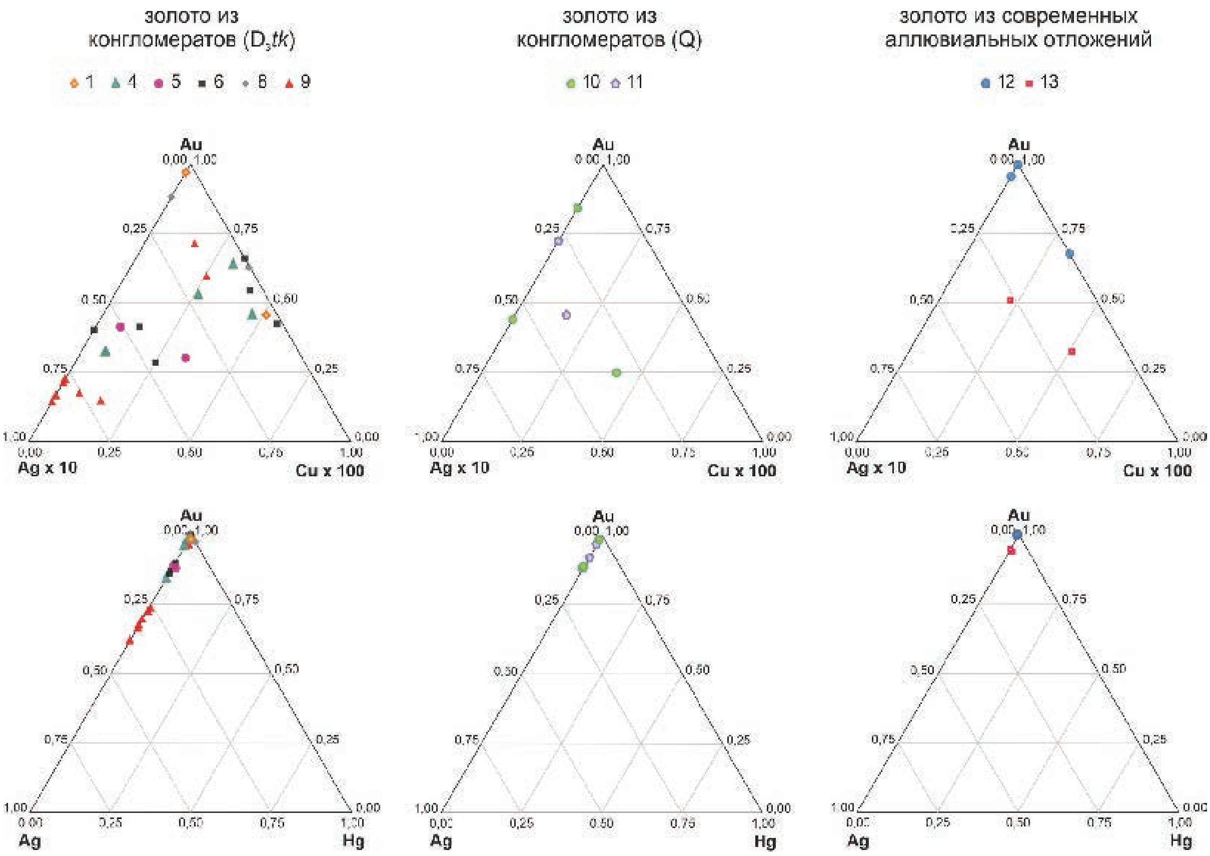

Рис. 8. Состав самородного золота из пород разного возраста на диаграммах Au–Ag–Cu и Au–Ag–Hg. Номера зерен соответствуют таковым в табл. 2.

Fig. 8. Composition of native gold from rocks of various ages on Au–Ag–Cu and Au–Ag–Hg diagrams. Grain numbers correspond to those in Table 2.

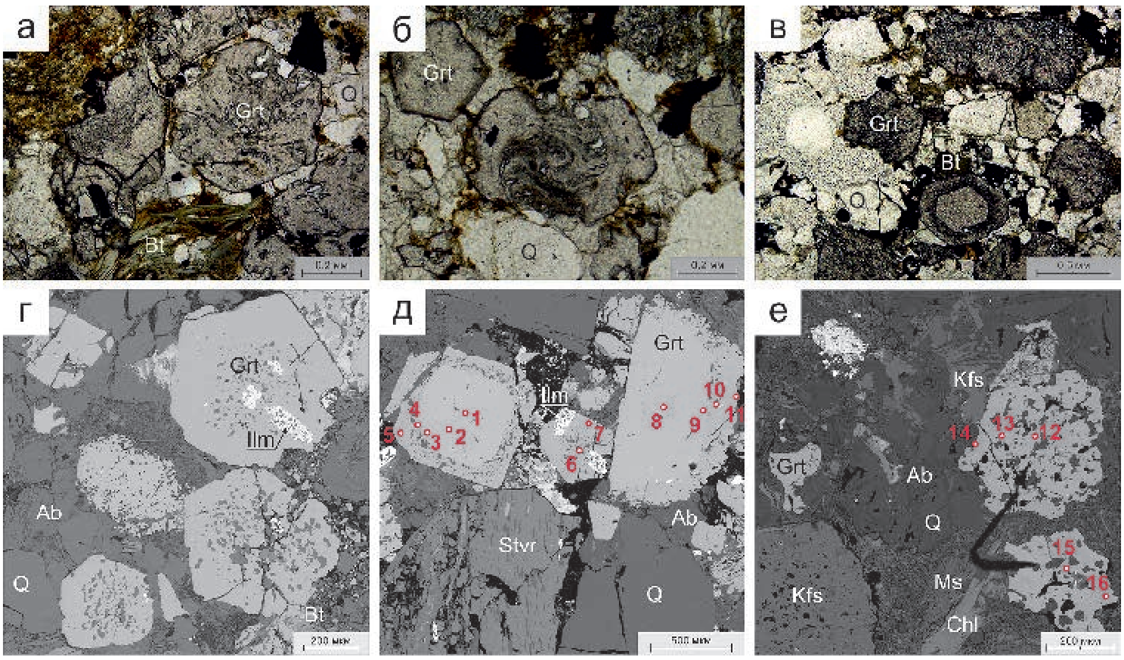

Рис. 9. Зерна граната из конгломератов таяокуяхинской свиты: а–в – проходящий свет; г–е – BSE-фото. д, е – состав приведен в табл. 3.

Fig. 9. Garnet grains from conglomerates of the Tayaokuyakha Formation: а–в – transmitted light; г–е – BSE-photo. д, е – the composition is given in Table 3.

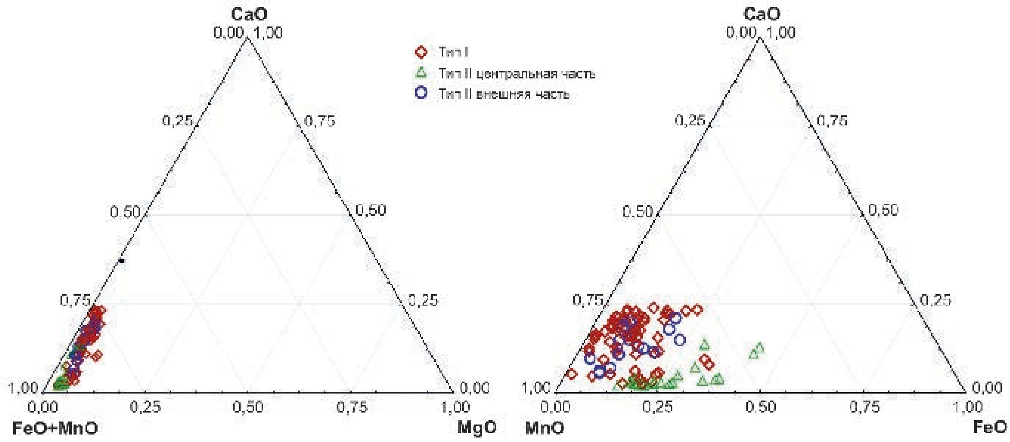

Рис. 10. Состав гранатов из конгломератов таяокуяхинской свиты (D_3*tk*).
Fig. 10. Composition of garnets from conglomerates of the Tayaokuyakha Formation (D_3*tk*).

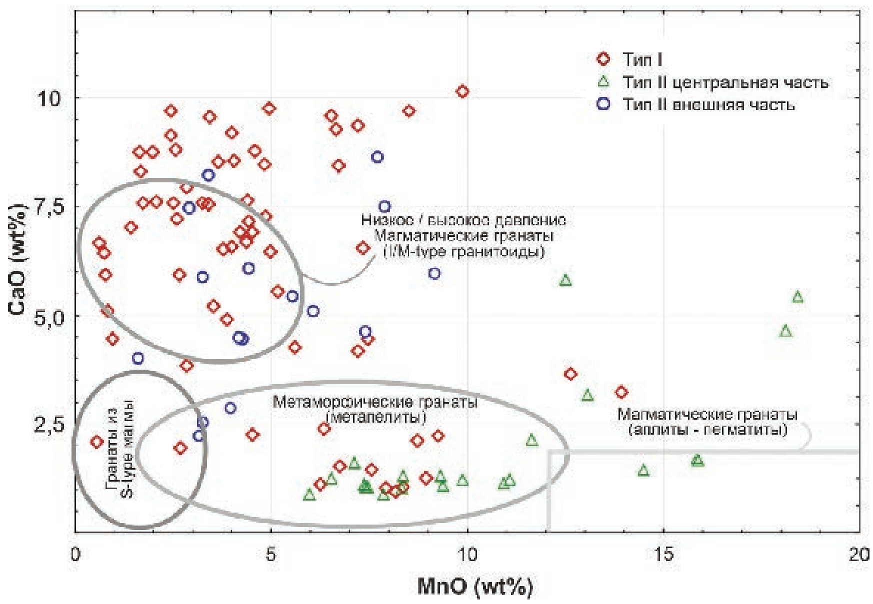

Рис. 11. Корреляция между содержанием MnO и CaO (мас. %) в гранатах из конгломератов таяокуяхинской свиты. Области состава гранатов из различных пород даны по (Samadi et al., 2014).
Fig. 11. MnO–CaO correlation (wt. %) in garnets from conglomerates of the Tayaokuyakha Formation. Areas of composition of garnets from various rocks are from (Samadi et al., 2014).

кристалла одновременно с его ростом и захватом матрикса в процессе метаморфизма (Половинкина, 1966). Единичные составы гранатов попадают в поля гранатов из аплитов-пегматитов и из гранитов S-типа, что также согласуется с историей геологического развития района. С процессами регионального метаморфизма связаны дайки гранитных пегматитов, выходящие на поверхность в юго-восточной оконечности кряжа Канин Камень (Гецен, 1975; Черемхина, 1996ф). Возраст даек гранитных пегматитов микулкинско-болванского гранитного комплекса (γV_2-C_1*mb*) по результатам $^{40}Ar/^{39}Ar$ датирования мусковита составляет 536–544 млн лет (Соболева и др., 2022).

Большинство гранатов типа I и практически все каймы гранатов типа II сходны по составу и образуют общее поле на рис. 11, что позволяет предположить их одновременное образование и более молодой возраст по отношению к центральным частям гранатов типа II. Они близки по составу к гранатам из гранитоидов (рис. 11). Единственными магматическими породами на изучаемой территории, помимо жил гранитных пегматитов, являются долериты нехайтеяхинского комплекса метагаббро-

Таблица 3

Химический состав гранатов из конгломератов таяокуяхинской свиты (D_3*tk*) (мас. %)

Table 3

Chemical composition of garnets from conglomerates of the Tayaokuyakha Formation (D_3*tk*) (wt. %)

№	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	**Сумма**	**Тип-зона**
1	36.27	0.11	20.5	24.13	15.86	1.34	1.73	0.28	0.00	100.22	II-ц
2	35.86	0.01	20.19	25.27	15.89	1.27	1.67	0.04	0.06	100.26	II-ц
3	36.24	0.08	20.53	26.39	14.49	1.01	1.45	0.00	0.03	100.22	II-ц
4	37.96	0.00	19.97	24.84	9.15	1.20	5.97	0.00	0.00	99.09	II-к
5	37.31	0.14	21.69	29.59	2.91	1.51	7.46	0.00	0.00	100.61	II-к
6	36.52	0.15	20.61	29.48	4.42	0.89	7.17	0.20	0.06	99.50	I
7	37.04	0.00	20.91	33.78	0.62	1.49	6.66	0.00	0.00	100.50	I
8	35.71	0.00	20.28	32.26	8.35	1.79	1.30	0.16	0.05	99.90	II-ц
9	35.99	0.01	20.83	35.46	5.97	1.16	0.89	0.01	0.06	100.38	II-ц
10	35.8	0.22	20.85	32.72	4.19	1.3	4.48	0.23	0.00	99.79	II-к
11	35.83	0.05	20.31	36.27	1.61	1.71	4.00	0.00	0.00	99.78	II-к
12	35.66	0.22	20.47	19.56	18.1	0.65	4.65	0.00	0.10	99.41	I
13	36.06	0.05	20.14	18.54	18.43	0.8	5.43	0.00	0.00	99.45	I
14	35.88	0.04	20.65	24.58	7.71	1.18	8.63	0.00	0.00	98.67	I
15	35.87	0.17	20.15	33.81	2.86	1.87	3.85	0.00	0.11	98.69	I
16	37.02	0.07	20.53	30.86	2.50	1.54	7.56	0.08	0.08	100.24	I

Эмпирические формулы:

1. $\{Fe^{2+}_{1.46}Mn_{1.09}Ca_{0.15}Mg_{0.16}Na_{0.04}\}_{2.90}[Al_{1.91}Fe^{3+}_{0.18}Ti_{0.01}]_{2.10}(Si_{2.95}Al_{0.06})_{3.01}O_{12}$
2. $\{Fe^{2+}_{1.52}Mn_{1.10}Ca_{0.15}Mg_{0.16}Na_{0.01}\}_{2.94}[Al_{1.87}Fe^{3+}_{0.21}]_{2.08}(Si_{2.93}Al_{0.07})_{3.00}O_{12}$
3. $\{Fe^{2+}_{1.71}Mn_{1.00}Ca_{0.13}Mg_{0.12}\}_{2.96}[Al_{1.94}Fe^{3+}_{0.09}Ti_{0.01}]_{2.04}(Si_{2.96}Al_{0.04})_{3.0}O_{12}$
4. $\{Fe^{2+}_{1.69}Mn_{0.63}Ca_{0.52}Mg_{0.15}\}_{2.99}[Al_{1.92}Si_{0.09}]_{2.01}(Si_{3.00})_{3.00}O_{12}$
5. $\{Fe^{2+}_{1.97}Mn_{0.20}Ca_{0.64}Mg_{0.18}\}_{2.99}[Al_{2.01}Ti_{0.01}]_{2.02}(Si_{2.97}Al_{0.03})_{3.00}O_{12}$
6. $\{Fe^{2+}_{1.87}Mn_{0.30}Ca_{0.62}Mg_{0.11}Na_{0.03}\}_{2.93}[Al_{1.93}Fe^{3+}_{0.13}Ti_{0.01}]_{2.07}(Si_{2.96}Al_{0.04})_{3.00}O_{12}$
7. $\{Fe^{2+}_{2.18}Mn_{0.04}Ca_{0.57}Mg_{0.18}\}_{2.97}[Al_{1.94}Fe^{3+}_{0.09}]_{2.03}(Si_{2.97}Al_{0.03})_{3.00}O_{12}$
8. $\{Fe^{2+}_{1.96}Mn_{0.58}Ca_{0.11}Mg_{0.22}Na_{0.03}\}_{2.90}[Al_{1.87}Fe^{3+}_{0.25}]_{2.12}(Si_{2.91}Al_{0.09})_{3.00}O_{12}$
9. $\{Fe^{2+}_{2.31}Mn_{0.41}Ca_{0.08}Mg_{0.14}\}_{2.94}[Al_{1.94}Fe^{3+}_{0.12}]_{2.06}(Si_{2.94}Al_{0.06})_{3.00}O_{12}$
10. $\{Fe^{2+}_{2.01}Mn_{0.29}Ca_{0.39}Mg_{0.16}Na_{0.04}\}_{2.89}[Al_{1.90}Fe^{3+}_{0.21}Ti_{0.01}]_{2.12}(Si_{2.90}Al_{0.10})_{3.00}O_{12}$
11. $\{Fe^{2+}_{2.25}Mn_{0.11}Ca_{0.35}Mg_{0.21}\}_{2.92}[Al_{1.86}Fe^{3+}_{0.22}]_{2.08}(Si_{2.92}Al_{0.09})_{3.01}O_{12}$
12. $\{Fe^{2+}_{1.19}Mn_{1.26}Ca_{0.41}Mg_{0.08}\}_{2.94}[Al_{1.90}Fe^{3+}_{0.15}Ti_{0.01}]_{2.06}(Si_{2.92}Al_{0.08})_{3.00}O_{12}$
13. $\{Fe^{2+}_{1.10}Mn_{1.28}Ca_{0.48}Mg_{0.10}\}_{2.96}[Al_{1.88}Fe^{3+}_{0.17}]_{2.05}(Si_{2.95}Al_{0.06})_{3.01}O_{12}$
14. $\{Fe^{2+}_{1.50}Mn_{0.53}Ca_{0.75}Mg_{0.14}\}_{2.92}[Al_{1.90}Fe^{3+}_{0.18}]_{2.08}(Si_{2.92}Al_{0.08})_{3.0}O_{12}$
15. $\{Fe^{2+}_{2.19}Mn_{0.20}Ca_{0.34}Mg_{0.23}\}_{2.96}[Al_{1.90}Fe^{3+}_{0.13}Ti_{0.01}]_{2.04}(Si_{2.95}Al_{0.05})_{3.0}O_{12}$
16. $\{Fe^{2+}_{1.95}Mn_{0.17}Ca_{0.65}Mg_{0.18}Na_{0.01}\}_{2.96}[Al_{1.91}Fe^{3+}_{0.13}]_{2.04}(Si_{2.7}Al_{0.03})_{3.0}O_{12}$

Примечание. Формулы гранатов рассчитаны с помощью программы MineralCalc v.1.1 (автор Е.В. Кориневский, https://petroexplorer.ru/ru/mnu-pe-ru/st-mnu/mincalc-mnu-ru/57-mincalc-review-ru.html).

Note. The formulas of garnet are calculated using Mineral Calc v.1.1 program (author E.V. Korinevsky, https://petroexplorer.ru/ru/mnu-pe-ru/st-mnu/mincalc-mnu-ru/57-mincalc-review-ru.html).

идов (mνβRF$_3$) и базальтоиды канино-тиманского долеритового комплекса (βD$_3$*kt*), с которыми генетически гранаты, скорее всего, не связаны. Таким образом, состав гранатов позволяет предполагать, что основными источниками материала для девонских базальных отложений послужили метаморфические сланцы рифея. Однако нельзя исключить также участие вещества разрушавшихся в девоне докембрийских гранитоидов, не выходящих на уровень эрозионного среза в настоящее время.

На основании морфологических особенностей зерен самородного золота из конгломератов позднего девона, минеральных включений в их краевых частях, а также отпечатков кристаллов на поверхностях зерен можно говорить о небольшой дальности источника сноса. Ранее на основании особенностей вещественного состава песчаников таяокуяхинской свиты было установлено существенное влияние метаморфизованных толщ табуевской серии на их формирование, а также указан потенциальный источник выявленного в песчаниках золота – дайки долеритов, секущие породы рифейского возраста (Никулова, Павлова, 2021). В нашем случае, самородное золото из конгломератов характеризуется примесью Cu, что обычно связывается с основными и ультраосновными породами (Чудненко, Пальянова, 2014; Пальянова, 2020). Таким образом, по аналогии с Пай-Хоем, где позднедевонские долериты несут благороднометальную минерализацию (Шайбеков, 2013), можно предполагать, что материнскими породами для золота в конгломератах на п-ве Канин являлись метаморфизованные дайки долеритов нехайтеяхинского комплекса метагабброидов ($mv\beta RF_3$) или дайки долеритов канино-тиманского долеритового комплекса (βD_3kt), прорывающие метаморфические породы рифея (Степаненко, 2016). Минеральные включения в золоте (кварц, альбит, ильменит, биотит и др.) указывают на широкий спектр коренных пород: это могли быть кварц-сульфидные гидротермальные жилы в подстилающих сланцах, тела гранитных пегматитов, дайки габбро-долеритов и др. Вследствие этого, сузить и спрогнозировать конкретный генетический тип первичного коренного источника только на основании состава золота и минеральных включений в нем не представляется возможным.

В последующее позднепалеозойско-мезозойское время в районе сохранялся мелководно-бассейновый платформенный режим, в ходе чего золотоносные отложения девона были захоронены под массой более молодых осадков, с образованием палеороссыпей девонского возраста (Горностай и др., 1984ф; Черемхина, 1996ф).

В позднекайнозойское (палеоген?-четвертичное) время перекрывающие осадки были частично эродированы, вплоть до разрушения девонских пород с их последующим переотложением и образованием обширного молассоидного неоген-четвертичного чехла, в котором отмечаются находки знаков самородного золота. На основании сходного состава его с составом самородного золота из девонских конгломератов, а также сходства минеральных включений можно предполагать единый тип первичного коренного источника. Пространственная близость россыпей разного возраста, а также более уплощенная и окатанная форма золотин (что говорит о более длительном переносе зерен), свидетельствуют о том, что палеороссыпь девонского возраста, скорее всего, является промежуточным коллектором для более молодых россыпей.

Заключение

Формирование палеороссыпи девонского возраста, относящейся к формации золотоносных конгломератов, происходило после длительного перерыва осадконакопления в юго-восточной части полуострова Канин. Золото в россыпи средне- и высокопробное, с примесью Ag, Hg и Cu, морфологические признаки золотин свидетельствует о ближнем сносе. Состав гранатов из конгломератов, в которых обнаружено самородное золото, указывает на то, что подстилающие метаморфические сланцы рифея участвовали в петрофонде девонских отложений. Коренным источником самородного золота, вероятно, являются дайки основных пород позднерифейского или/и позднедевонского возраста, прорывающие метаморфизованные толщи рифея. Значимые современные россыпи могут формироваться в данном районе в процессе перемыва палеороссыпей девонского возраста.

Авторы выражают благодарность редакции журнала и рецензенту А.А. Соболевой за ценные советы и замечания, которые позволили улучшить содержание статьи. Выражаем благодарность Канинской полевой партии, благодаря которой был отобран материал для статьи, а также С.Ю. Степанову за помощь в организации аналитических исследований.

Работа выполнена за счет госбюджетных средств темы № 122040600006-1.

Литература

Безносов П.А., Снигиревский С.М., Сивкова А.П., Павлова М.А., Зархидзе Д.В. (2019) Осадочный комплекс девонских отложений восточной части полуострова Канин / Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. Т. II. *Региональная геология, тектоника, геодинамика, петрология и геохронология. Стратиграфия и палеонтология. Литология.* Сыктывкар, с. 135–137.

Гецен В.Г. (1975) Строение фундамента Северного Тимана и полуострова Канин. Л., Наука, 144 с.

Горностай Б.А., Румянцева Т.А., Лесков П.В. и др. (1984ф) Отчет о групповой геологической съемке м-ба 1:50 000 и поисках, проведенных на территории листов R-38-111Г, 123Б, 124 АБВГ, 125 АВГ, 126 Ввг, Гвг, 137Аб, Баб, 138Аб, Гб, 139АБ, Ваб, Габг, 140Авг, Бвг, ВГ, 141 Вг,142 BQ-38-8Баб, 9АБГ, 10 АВ на п-ове Канин. Нарьян-Мар, 1571 с.

Зархидзе Д.В., Богатырев Л.И., Цыбульская А.Е., Павлова М.А. (2019) Зона межформационного контакта рифея и позднего девона на крыльях Канинского антиклинория / Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. Т. II. *Региональная геология, тектоника, геодинамика, петрология и геохронология. Стратиграфия и палеонтология. Литология.* Сыктывкар, с. 29–32.

Кочетков О.С., Алексеев Н.В. (1986ф–1988ф) Составление прогнозно-металлогенической карты Тимана и п-ова Канин м-ба 1:200000. Архангельск-Ухта, 422 с.

Никулова Н.Ю., Павлова М.А. (2021) Особенности вещественного состава песчаников таяокуяхинской свиты верхнего девона на юго-восточном склоне кряжа Канин Камень (полуостров Канин). *Вестник геонаук,* **1**(313), 21–29.

Оловянишников В.Г. (2004) Геологическое развитие полуострова Канин и Северного Тимана. Сыктывкар, 80 с.

Павлова М.А., Зархидзе Д.В., Богатырев Л.И., Цыбульская А.Е. (2018) Межформационный контакт рифейских и верхнедевонских образований полуострова Канин. *Мат. 27-ой научн. конф. Института геологии Коми НЦ УрО РАН*. Сыктывкар, с. 166–171.

Пальянова Г.А. (2020) Минералы золота и серебра в сульфидных рудах. *Геология рудных месторождений,* **62**(5), 426–449.

Пачуковский В.М. (1968ф) Материалы к геологической карте СССР м-ба 1:200 000. Геологическое строение территории листов R-38-XXXIV, XXXV, Q-38-IV, V. Отчет о производстве геолого-поисково-съемочных работ Канинской ГПСП на территории листов R-38-XXXIV, XXXV, Q-38-IV, V в 1965–67 гг. Ухта, 420 с.

Петровская Н.В. (1973) Самородное золото. Общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса. М., ИГЕМ РАН, 345 с.

Половинкина Ю.И. (1966) Структуры и текстуры изверженных и метаморфических горных пород. Часть вторая. Том II. Метаморфические породы. М., Недра, 270 с.

Розанов В.И. (1989ф) Отчет о проведении геологического дешифрирования материалов аэро- и космических съемок с комплексом работ по наземной проверке с целью выяснения геологической природы отдешифрированных объектов и их поискового значения, и составления геолого-минерагенической карты масштаба 1:200 000 Северного Тимана и п-ва Канин на благородные металлы (листы R-38-XXXII-XXXV, Q-38-III-VI, Q-38-XII, Q-39-I, II, VII, VIII), 1985–1989 г.г. в 4-х книгах. М.

Соболев Н.В. (1964) Парагенетические типы гранатов. М., Наука, 216 с.

Соболева А.А., Андреичев В.Л., Травин А.В. (2022) Гранитные пегматиты п-ова Канин: первые результаты 40Ar/39Ar датирования. *Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения-2022)*. Сыктывкар, ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, с. 72–73.

Степаненко В.И. (2016) Канино-Тимано-Печорская провинция позднедевонского внутриплитного магматизма (положения и размеры). *Доклады РАН*, **467**(5), 572–575.

Черемхина Г.М. (1996ф) Геологическое строение и полезные ископаемые полуострова Канин. Отчет Несской геологосъемочной партии о результатах групповой геологической съемки и геологического доизучения ранее заснятых площадей м-ба 1 : 200 000, проведенных в 1988–1996 гг. на п-ве Канин. Листы R-38-XXXII, XXXIII, XXXIV, XXXV; Q-38-II, III, IV, V, VIII, IX, XV, XVI. Новодвинск, 428 с.

Чудненко К.В., Пальянова Г.А. (2014) Термодинамические свойства твердых растворов в системе Ag–Au–Cu. *Геология и геофизика*, **55**(3), 449–463.

Шайбеков Р.И. (2013) Платиносульфидная минерализация в габбро-долеритах Пай-Хоя. Сыктывкар, Коми НЦ УрО РАН, 108 с.

Jiang X., Chen X., Zheng Y., Gao S., Zhang Z., Zhang Y., Zhang S. (2020) Decoding the oxygen fugacity of ore-forming fluids from garnet chemistry, the Longgen skarn Pb-Zn deposit, Tibet. *Ore Geology Reviews*, **126**, 103770.

Konrad-Schmolke M., O'Brien P.J., de Capitani C., Carswell D.A. (2008) Garnet growth at high-and ultra-high pressure conditions and the effect of element fractionation on mineral modes and composition. *Lithos*, **103**, 309–332.

Samadi R., Miller N.R., Mirnejad H., Harris C., Kawabata H., Shirdashtzadeh N. (2014) Origin of garnet in aplite and pegmatite from Khajeh Morad in northeastern Iran: A major, trace element, and oxygen isotope approach. *Lithos*, **208**–**209**, 378–392.

Tian Z.D., Leng C.B., Zhang X.C., Zafar T., Zhang L.J., Hong W., Lai C.K. (2019) Chemical composition, genesis and exploration implication of garnet from the Hongshan Cu-Mo skarn deposit, SW China. *Ore Geology Reviews*, **112**, 103016.

References

Beznosov P.A., Snigirevsky S.M., Sivkova A.P., Pavlova M.A., Zarkhidze D.V. (2019) [Devonian sedimentary complex of the eastern part of the Kanin Peninsula]. In: *Geologiya i mineral'nye resursy Evropejskogo Severo-Vostoka Rossii. T. II. Regional'naya geologiya, tektonika, geodinamika, petrologiya i geohronologiya. Stratigrafiya i paleontologiya. Litologiya [Geology and Mineral Resources of the European Northeast of Russia. Vol. II. Regional Geology, Tectonics, Geodynamics, Petrology and Geochronology. Stratigraphy and Paleontology. Lithology]*. Syktyvkar, 135–137. (in Russian)

Cheremkhina G.M. (1996) [Geological structure and mineral deposits of the Kanin Peninsula. Unpublished report of the Nes Geological Survey Party on results of group geological survey and geological re-study of previously mapped areas at a scale of 1:200 000 conducted in 1988–1996 at the Kanin peninsula. Sheets R-38-XXXII, XXXIII, XXXIV, XXXV; Q38-II, III, IV, V, VIII, IX, XV, XVI]. Novodvinsk, 428 p. (in Russian)

Chudnenko K.V., Palyanova G.A. (2014) Thermodynamic properties of solid solutions in the Ag–Au–Cu system. *Russian Geology and Geophysics*, **55**(3), 349–360.

Getsen V.G. (1975) [Structure of the basement of North Timan and Kanin Peninsula]. Leningrad, Nauka, 144 p. (in Russian)

Gornostay B.A., Rumyantseva T.A., Leskov P.V. et al. (1984) [Unpublished report on group geological survey on a scale of 1:50 000 and searching works at the territory of sheets R-38-111G, 123B, 124 ABVG, 125 AUG, 126 Vvg, Gvg, 137Ab, Bab, 138Ab, 139AB, Vab, Gabg, 140Avg, Bvg, VG, 141 Vg,142 VQ-38-8Bab, 9ABG, 10 AB of the Kanin Peninsula]. Nar'yan-Mar, 1571 p. (in Russian)

Jiang X., Chen X., Zheng Y., Gao S., Zhang Z., Zhang Y., Zhang S. (2020) Decoding the oxygen fugacity of ore-forming fluids from garnet chemistry, the Longgen skarn Pb-Zn deposit, Tibet. *Ore Geology Reviews*, **126**, 103770.

Konrad-Schmolke M., O'Brien P.J., de Capitani C., Carswell D.A. (2008) Garnet growth at high-and ultra-high pressure conditions and the effect of element fractionation on mineral modes and composition. *Lithos*, **103**, 309–332.

Kochetkov O.S., Alekseev N.V. (1986–1988) [Unpublished report. Compilation of the forecast-metallogenic map of Timan and Kanin Peninsula on a scale of 1 : 200 000]. Arkhangelsk-Ukhta, 422 p. (in Russian)

Nikulova N.Yu., Pavlova M.A. (2021) [Specific features of sandstones of the Upper Devonian Tayokuyakha Formation of the southeastern slope of the Kanin Kamen Range (Kanin Peninsula)]. *Vestnik geonauk [Vestnik of Geosciences]*, 1(313), 21–29. (in Russian)

Olovyanishnikov V.G. (2004) [Geological evolution of the Kanin Peninsula and North Timan]. Syktyvkar, 80 p. (in Russian)

Pachukovsky V.M. (1968) [Materials for the geological map of the USSR on a scale of 1:200 000. Geological structure of the territory of sheets R-38-XXXIV, XXXV, Q-38-IV, V. Unpublished report on geological prospects and survey works of the Kanin GPSP at the territory of sheets R-38-XXXIV, XXXV, Q-38-IV, V in 1965–67]. Ukhta, 420 p. (in Russian)

Palyanova G.A. (2020) [Gold and silver minerals in sulfide ore]. *Geology of Ore Deposits*, **62**(5), 383–406.

Pavlova M.A., Zarkhidze D.V., Bogatyrev L.I., Cybul'skaya A.E. (2018) [Interformational contact of the Riphean and Upper Devonian formations of the Kanin Peninsula]. *Materialy 27 nauchnoy konferentsii Instituta geologii Komi NTs UrO RAN* [*Proceedings of the 27th Scientific Conference of the Institute of Geology, Komi Scientific Center of Ural Branch of Russian Akademy of Sciences]*. Syktyvkar, 166–171. (in Russian)

Petrovskaya N.V. (1973) [Native gold. General characteristics, typomorphism, problems of genesis]. Moscow, IGEM RAN, 345 p. (in Russian)

Polovinkina Yu.I. (1966) [Textures and structures of igneous and metamorphic rocks. Part Two. Volume II. Metamorphic rocks]. Moscow, Nedra, 270 p. (in Russian)

Rozanov V.I. (1989) [Unpublished report on geological decoding of materials of aerial and space survey with ground-based verification works in order to clarify the geological nature of the deciphered objects and their search value, and to compile a geological and mineragenic map of the 1:200 000 scale of the North Timan and Kanin Peninsula for precious metals (sheets R-38-XXXII-XXXV, Q-38-III-VI, Q-38-XII, Q-39-I, II, VII, VIII), 1985–1989 in 4 books]. Moscow. (in Russian)

Sobolev N.V. (1964) [Paragenetic types of garnets]. Moscow, Nauka, 216 p. (in Russian)

Soboleva A.A., Andreichev V.L., Travin A.V. (2022) [Granite pegmatites of the Kanin Peninsula: first results of $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating]. *Sovremennye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii (Yushkinskie chteniya-2022) [Current Problems of Theoretical, Experimental and Applied Mineralogy (Yushkin Readings-2022)].* Syktyvkar, IG FITs Komi NTs UrO RAN, 72–73. (in Russian)

Samadi R., Miller N.R., Mirnejad H., Harris C., Kawabata H., Shirdashtzadeh N. (2014) Origin of garnet in aplite and pegmatite from Khajeh Morad in northeastern Iran: A major, trace element, and oxygen isotope approach. *Lithos*, **208**–**209**, 378–392.

Stepanenko V.I. (2016) [The Kanin-Timan-Pechora province of Late Devonian intraplate magmatism (positions and sizes)]. *Doklady Earth Sciences,* **467**, 337–340.

Shaybekov R.I. (2013) [Platinum-sulfide mineralization in Pai-Khoi gabbrodolerites]. Syktyvkar, Komi NTs UrO RAN, 108 p. (in Russian)

Tian Z.D., Leng C.B., Zhang X.C., Zafar T., Zhang L.J., Hong W., Lai C.K. (2019) Chemical composition, genesis and exploration implication of garnet from the Hongshan Cu-Mo skarn deposit, SW China. *Ore Geology Reviews*, **112**, 103016.

Zarkhidze D.V., Bogatyrev L.I., Cybul'skaya A.E., Pavlova M.A. (2019) [Riphean-Late Devonian interformational contact zone on the wings of the Kanin Anticlinorium]. In: *Geologiya i mineral'nye resursy Evropejskogo Severo-Vostoka Rossii. T. II. Regional'naya geologiya, tektonika, geodinamika, petrologiya i geohronologiya. Stratigrafiya i paleontologiya. Litologiya [Geology and Mineral Resources of the European Northeast of Russia. Vol. II. Regional Geology, Tectonics, Geodynamics, Petrology and Geochronology. Stratigraphy and Paleontology. Lithology]*. Syktyvkar, 29–32. (in Russian)