

УДК 553.068.5.549

DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-2-3

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ШЛИХОВЫХ ПРОБ РОССЫПИ ЗОЛОТА КАМЕННАЯ САНАРКА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Д.А. Рогов¹, М.А. Рассомахин²¹ Санкт-Петербургский горный институт, 21-я линия В.О. 2, г. Санкт-Петербург, 199106 Россия;
danil.rogov99@mail.ru² Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН,
Институт минералогии, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия

Статья поступила в редакцию 25.04.2021 г., принята к печати 7.06.2021 г.

MINERAL COMPOSITION OF HEAVY CONCENTRATES OF THE KAMENNAYA SANARKA GOLD PLACER (SOUTH URALS)

D.A. Rogov¹, M.A. Rassomakhin²¹ St. Petersburg Mining University, 21 liniya V.O. 2, St. Petersburg, 199106 Russia; danil.rogov99@mail.ru² South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy,
Miass, Chelyabinsk district 456317 Russia

Received 25.04.2021, accepted 7.06.2021

Аннотация. В работе приводятся результаты исследования шлиховых проб россыпи золота Каменная Санарка на Южном Урале. Фракция +1 мм содержит кианит, гранат, ставролит, характерные для вмещающих сланцев, тогда как во фракции –0.5 мм концентрируются минералы, являющиеся акцессорными в гранитных массивах: циркон, монацит, колумбит и танталит. Фракция –1 + 0.5 мм является переходной по составу. По морфологическим особенностям самородное золото из шлиховых проб можно разделить на окатанное и неокатанное. Основной примесью в нем является Ag, в единичных зернах встречается Cu. Примесь Hg присутствует как результат добычи золота в этом районе методом амальгамации в прошлом. На основании морфологических и химических особенностей предполагается два источника самородного золота: золото-(сульфидно)-кварцевые жилы в сланцах и гнейсах, слагающих плотик, а также золото дальнего переноса, связанное с кварцевыми жилами Каменно-Санарского массива.

Ключевые слова: Каменная Санарка, минералогия, золото, коренной источник.

Abstract. The paper presents the results of study of heavy concentrates from the Kamennaya Sanarka gold placer in the South Urals. The +1 mm fraction contains kyanite, garnet and staurolite, which are characteristic of host shists, whereas the –0.5 mm fraction contains accessory minerals of granite plutons; the –1 + 0.5 mm fraction is transitional in composition. Native gold in heavy concentrates is rounded and angular. It mostly contains Ag and Cu (in single grains). Mercury in the composition of gold occurs as a result of previous gold amalgamation. On the basis of morphological and chemical features, native gold could probably be sourced from gold-(sulfide)-quartz veins in schists and gneisses, which compose the bedrock, as well as from quartz veins of the Kamennaya Sanarka granite pluton.

Keywords: Kamennaya Sanarka, mineralogy, gold, primary source.

Для цитирования: Рогов Д.А., Рассомахин М.А. Минералогия шлиховых проб россыпи золота Каменная Санарка (Южный Урал). Минералогия, 7(2), 68–77. DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-2-3.

For citation: Rogov D.A., Rassomakhin M.A. Mineralogy of heavy concentrates of the Kamennaya Sanarka gold placer (South Urals) Mineralogy, 7(2), 68–77. DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-2-3.

Введение

Каменно-Санарская россыпь находится в Челябинской области, в 3 км к северу от пос. Каменная Санарка в пределах Кочкарско-Санарского ураново-редкометалльно-золоторудного района. Она располагается в Восточно-Уральской структурно-фациальной зоне и приурочена к палеоген-неогеновым породам (рис. 1) (Пужаков и др., 2018). Исторически в междуречье рек Каменка и Санарка был известен ряд россыпей, которые впоследствии были объединены в Андрее-Юльевское месторождение золота. В его состав входят Каменно-Санарская, Еленинская, Андреевская, Покровская и другие более мелкие россыпи. Добыча золота в районе началась в 1845 г. с разработки Каменно-Павловского прииска, который теперь входит в состав Андрее-Юльевского россыпного месторождения (Колисниченко, Попов, 2008). В россыпях района находят немало редких минералов: розовый топаз, эвклаз, красный корунд, хризоберилл (Воробьев, 1903; Колисниченко, Попов, 2008). Помимо россыпей в Пластовском районе известны коренные проявления золото-кварцевых и золото-сульфидно-кварцевых жил, а в том же структурном блоке располагаются крупнейшие на Южном Урале Кочкарское и Светлинское месторождения.

Каменно-Санарская россыпь протягивается на 7 км в северо-восточном направлении. На этой россыпи добыча золота с перерывами ведется с 1980 г. Несмотря на многолетние эксплуатационные и исследовательские работы, коренной источник золота в каждой конкретной россыпи достоверно не установлен (Пужаков и др., 2018). Кроме того, до сих пор не опубликованы подробные данные по минеральному составу шлихов с описанием соотношений главных минералов и характерными акцессорными минералами. Цель данной работы – детальная характеристика минерального состава россыпи Каменная Санарка для установления коренных источников сноса.

Методы исследования

Пробы (65 штук) были предоставлены ООО «Кристалл» и представляли собой серый шлик. Пробы были разделены на гранулометрические фракции +1 мм, –1+0.5 мм и –0.5 мм, средняя и мелкая фракции были доведены до черного шлика путем отмывки в воде, из проб мелкой фракции отмывкой в бромформе была выделена «золотая

головка». Все фракции исследованы на стереомикроскопе STEMI 2000-CZ. Для определения валового химического состава фракций использован портативный рентгенофлуоресцентный анализатор INNOV-XL. Валовый минералогический анализ некоторых проб проведен при помощи рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD-6000 с Cu-K α излучением и графитовым монохроматором, для анализа микроколичеств использована подложка из бездифракционного кремния (аналитик Е.В. Белогуб). Состав минералов определен на СЭМ VEGA3 TESCAN SBU с ЭДА (аналитик М.А. Рассомахин). Состав золота определен на рентгенофлуоресцентном спектрометре Bruker M1 Mistral (аналитик М.А. Рассомахин). Аналитические исследования проведены на оборудовании Центра коллективного пользования Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН (ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г Миасс).

Геологическая характеристика объекта

Каменно-Санарская россыпь входит в состав Андрее-Юльевского прииска, который находится на юго-востоке Кочкарско-Санарского ураново-редкометалльно-золоторудного района. Наиболее крупные россыпи Андрее-Юльевского прииска приурочены к делювиально-аллювиальным и аллювиальным песчано-глинистым отложениям палеогенового и неогенового возраста. Значительное количество более мелких россыпей приурочено к четвертичным отложениям. Аллювиальные отложения представлены глинами, песчано-глинистым материалом и щебнем коренных пород. В различных россыпях, в зависимости от их географического положения, плотик может быть сложен серпентинитами, гранитами, известняками, туфами и сланцами различного состава.

Каменно-Санарская россыпь располагается в долинах рек Санарки и Каменки и приурочена к мезозойской меридиональной эрозионно-структурной депрессии, в пределах которой развиты палеодолины олигоцен-миоценовой речной системы. Россыпь располагается в древней погребенной речной долине, протягивающейся между Борисовским и Пластовским гранитными массивами от пос. Каменная Санарка на юге до пос. Борисовка на севере. Промышленные концентрации золота сосредоточены в отложениях верхнего олигоцена и нижнего-среднего миоцена, представленных песчанистыми глинами, песками грубозернистыми с

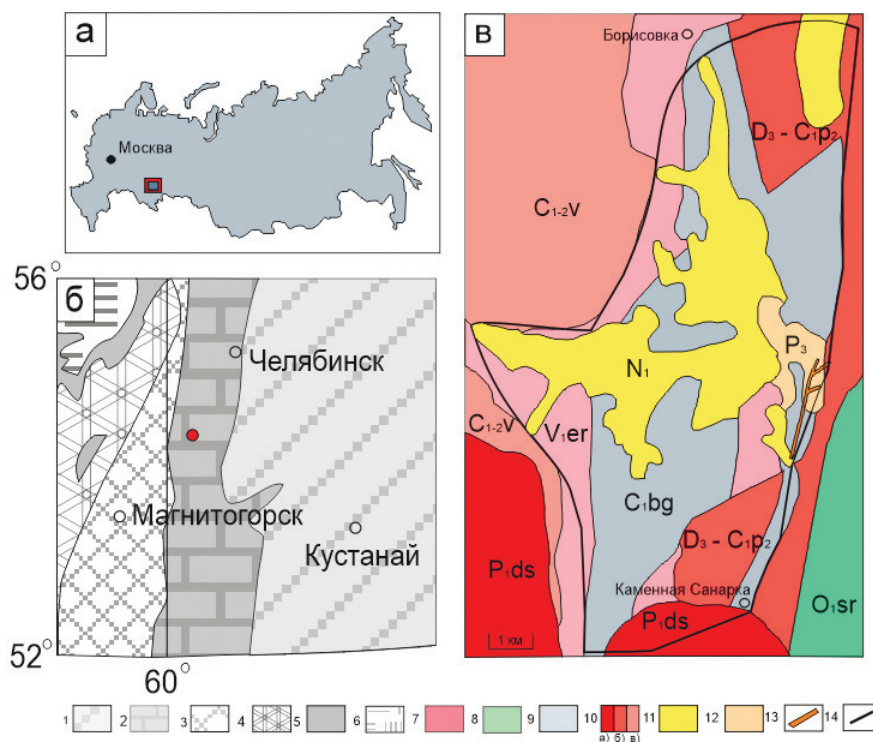


Рис. 1. Географическое положение и геологическая позиция россыпи Каменная Санарка:

а – положение на карте России; б – позиция в структуре Урала (Пучков, 2010); в – схема геологического строения и положение в пределах Андрее-Юльевского прииска (Пужаков и др., 2018):

1 – Западно-Сибирская плита; 2 – Восточно-Уральская мегазона; 3 – Тагило-Магнитогорская мегазона; 4 – Центрально-Уральская мегазона; 5 – Западно-Уральская мегазона; 6 – Предуральский краевой прогиб; 7 – плагиогнейсы и сланцы еремкинской толщи; 8 – лавы и туфы саргазинской толщи; 9 – известняки и мраморы биргильдинской толщи; 10 – гранитные массивы: а – Каменно-Санарский, б – Пластовский, в – Борисовский; 11, 12 – глины и пески наурзумской и жиландиновской (11) и куртамышской (12) свит; 13 – россыпь Каменная Санарка; 14 – контур Андрее-Юльевского прииска.

Fig. 1. Geographical location and geological position of the Kamennaya Sanarka placer:

а – position on a map of Russia; б – position in structure of the Urals (Puchkov, 2010); в – geological scheme and position within the Andree-Yul'evsky placer mine (Puzhakov et al., 2018):

1 – West Siberian Platform; 2 – East Uralian Megazone; 3 – Tagil-Magnitogorsk Megazone; 4 – Central Uralian Megazone; 5 – West Uralian Megazone; 6 – Cis-Uralian marginal trough; 7 – plagiogneiss and schist of the Eremkino Sequence; 8 – lava and tuff of the Sargazy Sequence; 9 – limestone and marble of the Birgilda Sequence; 10 – granite plutons: а – Kamennaya Sanarka, б – Plast, в – Borisovskiy; 11, 12 – clay and sand of the Naurzum and Zhilanda (11) and Kurtamysh (12) formations; 13 – Kamennaya Sanarka placer; 14 – contour of the Andree-Yul'evsky placer mine.

прослоями и линзами глин. Менее значительные концентрации золота отмечаются в четвертичных отложениях (Пужаков и др., 2018).

Дочетвертичные образования в районе представлены органогенными белыми и серыми мраморизованными известняками, иногда с мраморами, кальцифирами; углисто-глинистыми, известково-глинистыми сланцами, алевролитами, песчаниками биргильдинской толщи карбонового возраста (Пужаков и др., 2018). Также в районе выходят на поверхность породы еремкинской толщи вендского возраста, представленные биотитовыми, гранат-биотитовыми, амфибол-биотитовыми, амфиболо-

выми плагиогнейсами, амфиболитами, слюдисто-плагиоклаз-кварцевыми кристаллосланцами (часто с гранатом, ставролитом, кианитом, силлиманитом); прослоями слюдистых, кианитовых и графитистых кварцитов, в верхней части – кварц-биотит-плагиоклаз-амфиболовыми кристаллосланцами. Россыпная зона граничит с Санарским (на юге), Борисовским (на северо-западе) и Пластовским (на северо-востоке) гранитными и плагиогранитными массивами пермского возраста (Пужаков и др., 2018).

Результаты исследований

Во фракции +1 мм преобладающими минералами являются кварц и ставролит, каждый из которых занимает около половины объема шлиха (рис. 2). Зерна кварца бесцветны, чаще всего окатанные. Ставролит встречен в виде хорошо ограненных кристаллов призматического габитуса. Отмечаются как непрозрачные кристаллы черного цвета, так и полупрозрачные светло-коричневые зерна с включениями других минералов. Встречены как отдельные кристаллы, так и включения в кианите и агрегатах гетита. Отмечаются крестообразные двойники прорастания. В этой фракции также часто встречается кианит и гранат, иногда занимающие до 10 % шлиха. Кианит образует зерна уплощенного облика от бесцветных до изумрудно-голубых, а также агрегаты игольчатых зерен. Зеленоватый оттенок некоторых зерен, вероятно, обусловлен незначительной примесью хрома (табл. 1). Отмечаются сростки со ставролитом, а также включения рутила и ставролита. Гранат встречен в виде ярко-красных обломков или кристаллов ромбододекаэдрического габитуса.

В качестве аксессуарных минералов (не более 5 % в шлихе) встречены рутил, гематит, галенит, корунд, мусковит, гетит и пироморфит. Ганит и хризоберилл были определены при помощи СЭМ с ЭДА (табл. 1). Рутил представлен кристаллами призматического габитуса ярко-красного цвета с хорошо выраженной штриховкой на гранях. Отмечаются также единичные зерна полихромной расцветки, представленной чередованием красных,

желтых и синих зон. Предположительно, пестрая расцветка обусловлена примесями W и Fe (табл. 2). Корунд представлен зернами и обломками кристаллов синего и розового цвета, реже наблюдаются более мелкие розовые кристаллы. У слабоокатанных кристаллов ярко выражены грани дитригональной призмы, наблюдаются грани ромбоэдра и пинакоида. Пироморфит представлен сростками призматических кристаллов ярко-зеленого цвета и сферолитами, реже наблюдаются отдельные более крупные слабо окатанные кристаллы призматического габитуса. Химический состав варьирует от пироморфита до миметита (табл. 1). Мусковит образует зерна пластинчатого облика. Часто отмечается развитие гетита на грани пинакоида. Галенит обнаруживается в слабоокатанных спайных выколках. Хризоберилл был встречен в виде нескольких слабоокатанных обломков желтого цвета. Ганит представлен полуокатанными ярко-зелеными зернами октаэдрического габитуса.

Во фракции $-1 + 0.5$ мм уменьшается количество кварца, ставролита и кианита и появляются монацит, циркон, минералы ряда колумбит-танталит, ильменорутил (диагностирован на РФА спектрометре) (рис. 2). Количество минералов непостоянно в каждой отдельно взятой пробе, однако в сумме они занимают до 95 % шлиха. Для этой фракции характерны следующие аксессуарные минералы: гранат, рутил, ильменит, магнетит, гематит, корунд, мусковит, галенит, гетит, пироморфит.

Магнетит представлен кристаллами октаэдрического габитуса, по которому часто развивается гематит. Ильменит и ильменорутил образу-

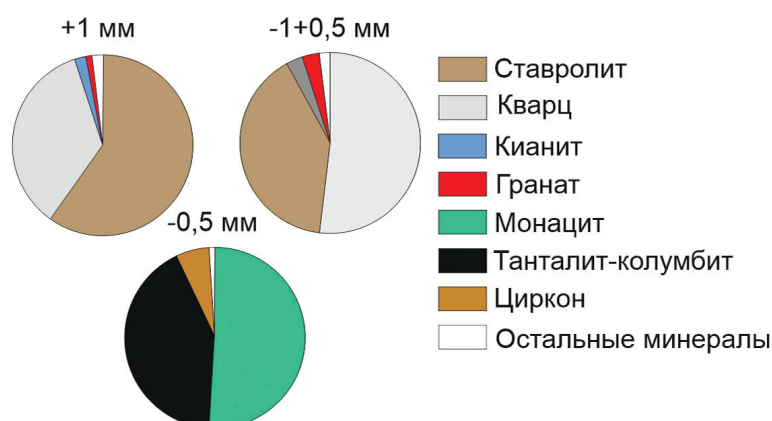


Рис. 2. Усредненный минеральный состав фракций.
Число проб – 65.

Fig.2. Average mineral composition of fractions.
The number of samples is 65.

Таблица 1

Химический состав акцессорных минералов во фракции +1 мм (мас. %)

Table 1

Chemical composition of accessory minerals in a +1-mm fraction (wt. %)

| № ан. | BeO | TiO ₂ | V ₂ O ₅ | ZrO ₂ | Nb ₂ O ₅ | Ta ₂ O ₅ | WO ₃ | FeO | Al ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | Cl | CaO | As ₂ O ₅ | PbO | MnO | ZnO | SiO ₂ | Cr ₂ O ₃ | Сумма | Формула |
|----------|-------|------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------|--------------------------------|-------------------------------|------|------|--------------------------------|-------|------|-------|------------------|--------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | — | 96.72 | 1.45 | 0.57 | 0.22 | 0.40 | 0.41 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 99.77 | (Ti _{0.97} V _{0.01}) _{0.98} O ₂ |
| 2 | — | 98.48 | 0.55 | — | — | — | — | 0.84 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 99.87 | (Ti _{0.99} Fe _{0.01}) ₁ O ₂ |
| 3 | — | 96.58 | — | — | 0.96 | 0.64 | 0.49 | 1.04 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 99.71 | (Ti _{0.98} Fe _{0.01}) _{0.99} O ₂ |
| 4 | — | 92.31 | — | — | 2.47 | 0.75 | 2.12 | 2.18 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 99.83 | (Ti _{0.95} Fe _{0.03} Nb _{0.02} W _{0.01}) _{1.01} O ₂ |
| 5 | 20.18 | — | — | — | — | — | — | 5.65 | 74.17 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 100.00 | Be(Al _{1.9} Fe _{0.1}) ₂ O ₄ |
| 6 | 20.57 | — | — | — | — | — | — | 2.96 | 76.47 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 100.00 | Be(Al _{1.93} Fe _{0.05}) _{1.98} O ₄ |
| 7 | — | — | 0.24 | — | — | — | — | — | — | 14.06 | 2.97 | 5.05 | 7.08 | 69.34 | — | — | — | — | 98.74 | (Pb _{3.75} Ca _{1.09}) _{4.84} (P _{2.39} As _{0.74} V _{0.03}) _{3.16} O ₁₂ |
| 8 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 6.51 | 2.42 | 2.1 | 13.52 | 74.41 | — | — | — | — | 98.96 | (Cl _{1.01} OH _{0.47}) _{1.48} (As _{1.62} P _{1.26}) _{2.88} O ₁₂ |
| 9 | — | — | — | — | — | — | — | 2.32 | 55.40 | — | — | — | — | — | 0.89 | 41.12 | — | — | 99.73 | (Zn _{0.93} Fe _{0.06} Mn _{0.02}) _{1.01} AlO ₄ |
| 10 | — | — | — | — | — | — | — | 1.25 | 60.48 | — | — | — | — | — | — | — | 36.53 | 1.53 | 99.79 | (Al _{1.95} Cr _{0.03} Fe _{0.03}) _{1.01} (SiO ₄)O |

Примечание. Здесь и далее, прочерк – не определялось. Содержание BeO в анализах 5 и 6 рассчитано с учетом стехиометрии. Анализы 1–4 – рутил; 5, 6 – хризоберилл; 7 – пироморфит; 8 – миметит; 9 – ганит; 10 – кванит. Формулы рутила и хризоберилла рассчитаны на два атома кислорода, ганита – на четыре, кванита – на пять, пироморфита и миметита – на 12.

Note. Hereinafter, dash – not determined. The BeO content in analyses 5 and 6 was calculated from stoichiometry. Analyses: 1–4 – rutile; 5, 6 – chrysoberyl; 7 – pyromorphite; 8 – mimetite; 9 – gahnite, 10 – kyanite. The formulas of minerals are recalculated to O atoms: two for rutile and chrysoberyl, four for gahnite, five for kyanite, and 12 for pyromorphite and mimetite.

Таблица 2

Химический состав рутила и ставролита во фракции –1 + 0.5 мм (мас. %)

Table 2

Chemical composition of rutile and staurolite in a –1 + 0.5-mm fraction (wt. %)

| № ан. | SiO ₂ | TiO ₂ | FeO | Nb ₂ O ₅ | Ta ₂ O ₅ | WO ₃ | MgO | Al ₂ O ₃ | MnO | Сумма | Формула |
|-------|------------------|------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------|--------------------------------|------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | — | 76.20 | 6.49 | 11.51 | 3.01 | 2.01 | — | — | — | 99.22 | (Ti _{0.84} Fe _{0.08} Nb _{0.07} Ta _{0.01} W _{0.01}) _{1.01} O ₂ |
| 2 | — | 96.02 | 1.06 | 0.95 | 0.52 | 0.83 | — | — | — | 99.38 | (Ti _{0.98} Fe _{0.01} Nb _{0.01}) ₁ O ₂ |
| 3 | 28.52 | 0.66 | 13.47 | — | — | — | 1.62 | 54.61 | 0.38 | 99.26 | (Fe _{0.67} Mg _{0.14} Ti _{0.03} Mn _{0.02}) _{0.86} Al _{3.82} Si _{1.69} O ₁₀ (OH) ₂ |

Примечание. Анализы: 1 – полихромный рутил, 2 – рутил, 3 – ставролит. Формулы рутила и ставролита рассчитаны на два и 11 атомов кислорода, соответственно.

Note. Analyses: 1 – polychrome rutile, 2 – rutile, 3 – staurolite. The formulas of rutile and staurolite are recalculated for two and 11 O atoms, respectively.

Таблица 3

Table 3

Химический состав монацита из всех фракций (мас. %)

Chemical composition of monazite from all fractions (wt. %)

| № ан. | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | SO ₃ | CaO | La ₂ O ₃ | Ce ₂ O ₃ | Pr ₂ O ₃ | Nd ₂ O ₃ | Sm ₂ O ₃ | ThO ₂ | UO ₂ | Gd ₂ O ₃ | Сумма | Формула |
|-------|------------------|-------------------------------|-----------------|------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 0.60 | 28.06 | 0.96 | 1.21 | 17.66 | 32.31 | 2.38 | 9.92 | 0.87 | 4.10 | — | — | 98.07 | (Ce _{0.47} La _{0.26} Nd _{0.14} Ca _{0.05} Th _{0.04} Pr _{0.03} Sm _{0.01})(P _{0.95} S _{0.03} Si _{0.02})O ₄ |
| 2 | 1.26 | 27.50 | — | 0.84 | 16.66 | 30.89 | 2.73 | 9.1 | 0.80 | 8.63 | 0.68 | — | 99.09 | (Ce _{0.46} La _{0.25} Nd _{0.13} Th _{0.08} Ca _{0.04} Pr _{0.04} Sm _{0.01} U _{0.01})(P _{0.94} Si _{0.05})O ₄ |
| 3 | 1.18 | 27.77 | — | 0.86 | 17.19 | 31.56 | 3.25 | 9.23 | 0.67 | 7.35 | — | — | 99.06 | (Ce _{0.47} La _{0.26} Nd _{0.13} Th _{0.07} Pr _{0.05} Ca _{0.04} Sm _{0.01})(P _{0.95} Si _{0.05})O ₄ |
| 4 | 2.25 | 25.87 | — | 0.82 | 14.62 | 27.75 | 2.3 | 9.07 | 0.90 | 12.07 | — | 1.21 | 96.86 | (Ce _{0.42} La _{0.22} Nd _{0.13} Th _{0.11} Ca _{0.04} Pr _{0.03} Gd _{0.02} Sm _{0.01})(P _{0.91} Si _{0.09})O ₄ |
| 5 | 1.43 | 28.25 | — | 3.78 | 8.73 | 20.63 | 2.22 | 7.99 | 2.09 | 19.83 | 1.08 | 2.84 | 98.87 | (Ce _{0.3} Th _{0.18} Ca _{0.16} La _{0.13} Nd _{0.11} Gd _{0.04} Sm _{0.03} Pr _{0.01} U _{0.01})(P _{0.95} Si _{0.05})O ₄ |
| 6 | 0.34 | 29.13 | — | 0.13 | 19.81 | 38.28 | 2.62 | 10.88 | — | — | — | — | 101.19 | (Ce _{0.53} La _{0.29} Nd _{0.15} Pr _{0.04})(P _{0.98} Si _{0.02})O ₄ |
| 7 | 0.63 | 27.75 | — | 0.59 | 12.57 | 28.59 | 2.78 | 10.77 | 1.6 | 3.93 | — | 2.08 | 91.29 | (Ce _{0.42} La _{0.2} Nd _{0.17} Th _{0.14} Pr _{0.04} Ca _{0.03} Gd _{0.03} Sm _{0.02})(P _{1.01} Si _{0.03})O ₄ |

Примечание. Формулы монацита рассчитаны на четыре атома кислорода. Анализы 1–4 – фракция –0.5 мм, 5–7 – фракция –1 + 0.5 мм.

Note. The formulas of monazite are recalculated for four O atoms. Analyses 1–4 – fraction of –0.5 mm, 5–7 – fraction of –1 + 0.5 mm.

ют черные непрозрачные окатанные зерна. Облик кристаллов слегка удлинённый или уплощенный. Циркон в этой фракции представлен светло-коричневыми кристаллами дипирамидального габитуса. Гематит представлен окатанными зернами вишнево-красного цвета. Также отмечаются его псевдоморфозы по магнетиту (мартит). Гетит также образует корки на магнетите, ставролите и гематите.

В мелкой фракции –0.5 мм более половины объема шлиха приходится на монацит, около 40 % приходится на минералы изоморфного ряда колумбит-танталит и еще около 10 % занимает циркон (рис. 2). Акцессорные минералы представлены редкими зернами рутила, ильменита, пироморфита, магнетита. Среди колумбитов и танталитов на РФА спектрометре обнаружены несколько зерен с повышенным содержанием Sn, возможно, представляющие тапиолит.

Монацит представлен прозрачными окатанными зернами оливково-зеленого цвета. Также встречаются кристаллы с хорошо выраженными гранями призмы и пинакоида. По данным СЭМ, содержание Th в монаците составляет до 6 мас. %, также в некоторых образцах отмечается примесь U (табл. 3). Минералы колумбит и танталит одинаково распространены в шлиховых пробах и представлены черными окатанными удлиненными зернами. Преобладают железистые разновидности колумбита, реже встречается железистый танталит (табл. 4). В этой фракции циркон встречается в виде окатанных зерен призматического облика, иногда с отчетливой гиацинтовой огранкой. Зерна бесцветные прозрачные или слегка окрашенные в оранжевый или розоватый цвет. Химический состав циркона приведен в таблице 4.

Самородное золото, преимущественно, свободное, реже в виде сростков с кварцем и гетитом встречается во всех фракциях, однако преобладающее количество знаков (в некоторых пробах >1000) встречено во фракции –0.5 мм. Отмечаются как неокатанные, пластинчатые, изометричные, дендритовидные зерна, морфологические особенности которых свидетельствуют о незначительном переносе от коренного источника, так и окатанные зерна (рис. 3). Типичными примесями в самородном золоте являются Ag от 1 до 30 мас. % и Hg, в единичных анализах присутствует Cu (табл. 5). При анализе состава золота не производилось разделение золота по окатанности, что, безусловно, искажает реальную картину.

Таблица 4

Химический состав минералов группы колумбита-танталита и циркона из фракции –0.5 мм (мас. %)

Table 4

Chemical composition of minerals of the columbite-tantalite group and zircon in a –0.5-mm fraction (wt. %)

| № ан. | SiO ₂ | TiO ₂ | MnO | FeO | Nb ₂ O ₅ | Ta ₂ O ₅ | ZrO ₂ | HfO ₂ | Сумма | Формула |
|-------|------------------|------------------|------|-------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | — | 1.80 | 6.42 | 9.11 | 17.33 | 64.85 | — | — | 99.51 | (Fe _{0.58} Mn _{0.41} Ti _{0.1}) ₁ (Ta _{1.33} Nb _{0.59}) _{1.92} O ₆ |
| 2 | — | 1.24 | 1.47 | 13.90 | 7.85 | 75.34 | — | — | 99.80 | (Fe _{0.94} Mn _{0.1} Ti _{0.08}) _{1.12} (Ta _{1.64} Nb _{0.69}) _{2.33} O ₆ |
| 3 | — | 2.19 | 5.29 | 11.57 | 39.84 | 40.55 | — | — | 99.44 | (Fe _{0.65} Mn _{0.3} Ti _{0.11}) _{1.06} (Nb _{1.2} Ta _{0.73}) _{1.93} O ₆ |
| 4 | — | 2.74 | 6.95 | 12.22 | 57.87 | 18.39 | — | — | 98.17 | (Fe _{0.63} Mn _{0.36} Ti _{0.13}) _{1.12} (Nb _{1.6} Ta _{0.3}) _{1.9} O ₆ |
| 5 | — | 0.43 | 3.79 | 15.24 | 46.89 | 33.63 | — | — | 99.98 | (Fe _{0.83} Mn _{0.21} Ti _{0.02}) _{1.06} (Nb _{1.38} Ta _{0.59}) _{1.97} O ₆ |
| 6 | — | 0.42 | 3.96 | 13.72 | 41.28 | 39.75 | — | — | 99.13 | (Fe _{0.77} Mn _{0.23} Ti _{0.1}) _{1.1} (Nb _{1.26} Ta _{0.72}) _{1.98} O ₆ |
| 7 | 32.70 | — | — | — | — | — | 65.53 | 1.18 | 106.41 | (Zr _{0.98} Hf _{0.01}) _{0.99} SiO ₄ |
| 8 | 32.33 | — | — | — | — | — | 65.22 | 1.09 | 106.64 | (Zr _{0.99} Hf _{0.01}) ₁ SiO ₄ |

Примечание. Анализы: 1, 2 – танталит, 3–6 – колумбит, 7, 8 – циркон. Формулы минералов группы колумбит-танталит и циркона рассчитаны на шесть и четыре атома кислорода, соответственно.

Note. Analyses: 1, 2 – tantalite, 3–6 – columbite, 7, 8 – zircon. The formulas of minerals of the columbite-tantalite group and zircon are recalculated to six and four O atoms, respectively.

Таблица 5

Химический состав самородного золота (мас. %)

Table 5

Chemical composition of native gold (wt. %)

| № пробы | Au | Ag | Hg | Cu | Сумма |
|---------|-------|-------|-------|------|-------|
| 3-1 | 92.48 | 1.22 | 6.30 | — | 100 |
| 3-2 | 70.47 | 29.53 | — | — | 100 |
| 3-3 | 96.67 | 3.33 | — | — | 100 |
| 3-4 | 90.86 | 9.14 | — | — | 100 |
| 3-5 | 95.11 | 4.89 | — | — | 100 |
| 3-6 | 93.16 | 6.84 | — | — | 100 |
| 3-7 | 77.02 | 12.36 | 9.09 | 1.53 | 100 |
| 3-8 | 89.97 | 10.03 | — | — | 100 |
| 3-9 | 88.41 | 8.25 | 3.34 | — | 100 |
| 3-10 | 95.18 | 4.82 | — | — | 100 |
| 3-11 | 82.16 | 17.84 | — | — | 100 |
| 3-12 | 71.65 | 0.00 | 28.35 | — | 100 |
| 14-1 | 80.33 | 0.00 | 19.67 | — | 100 |
| 14-2 | 99.03 | 0.97 | — | — | 100 |
| 14-3 | 81.28 | 4.82 | 13.90 | — | 100 |
| 41-1 | 98.75 | 1.25 | — | — | 100 |
| 56-1 | 98.24 | 1.76 | — | — | 100 |
| 57-1 | 93.48 | 6.52 | — | — | 100 |
| 57-2 | 83.70 | 9.83 | — | 6.47 | 100 |
| 57-3 | 82.93 | 10.23 | 6.85 | — | 100 |
| 57-4 | 90.01 | 9.99 | — | — | 100 |
| 57-5 | 73.26 | 5.50 | 21.25 | — | 100 |
| 64-1 | 97.45 | 2.55 | — | — | 100 |
| 64-2 | 89.54 | 2.42 | 8.04 | — | 100 |
| 65-1 | 98.02 | 1.98 | — | — | 100 |
| 65-2 | 97.68 | 2.32 | — | — | 100 |
| 65-3 | 92.07 | 5.34 | 2.60 | — | 100 |
| 65-4 | 73.86 | 9.31 | 16.83 | — | 100 |
| 65-5 | 98.33 | 1.67 | — | — | 100 |

Обсуждение результатов

Основываясь на геологическом строении области питания россыпи Каменная Санарка, можно выделить два основных источника материала: метаморфические породы и граниты. Минералы из них образуют две ассоциации, которые разделяются по крупности и степени окатанности, что свидетельствует о различной дальности переноса вещества. Минеральный состав фракции +1 мм соответствует вмещающим сланцам и гнейсам карбонового возраста, а хорошая сохранность кристаллической огранки минералов свидетельствует об их незначительном переносе. Наличие корунда обусловлено распространением в районе корундсодержащих мраморов и мраморизованных известняков (Кисин, 1991). Во фракции –0.5 мм концентрируются монацит, колумбит, танталит и циркон, характерные для гранитов. Фракция –1 + 0.5 мм является переходной по своему составу. Минералы, встреченные в единичных зернах (ганит и хризоберилл) характерны для гранитных пегматитов, выходы которых обнаружены в нескольких километрах выше по течению р. Санарки (Пузаков и др., 2018).

Для ряда золото-сульфидно-кварцевых жил в близлежащих месторождениях среди прочих сульфидов характерно присутствие галенита (Плотинская и др., 2009). В бортах р. Каменки при золотодобыче были обнаружены кварцевые жилы с галенитом (Попова и др., 2010), а в ряде россыпей Андрее-Юльевского прииска в плотиках наблюдались сульфидные жилы с галенитом, залегающих

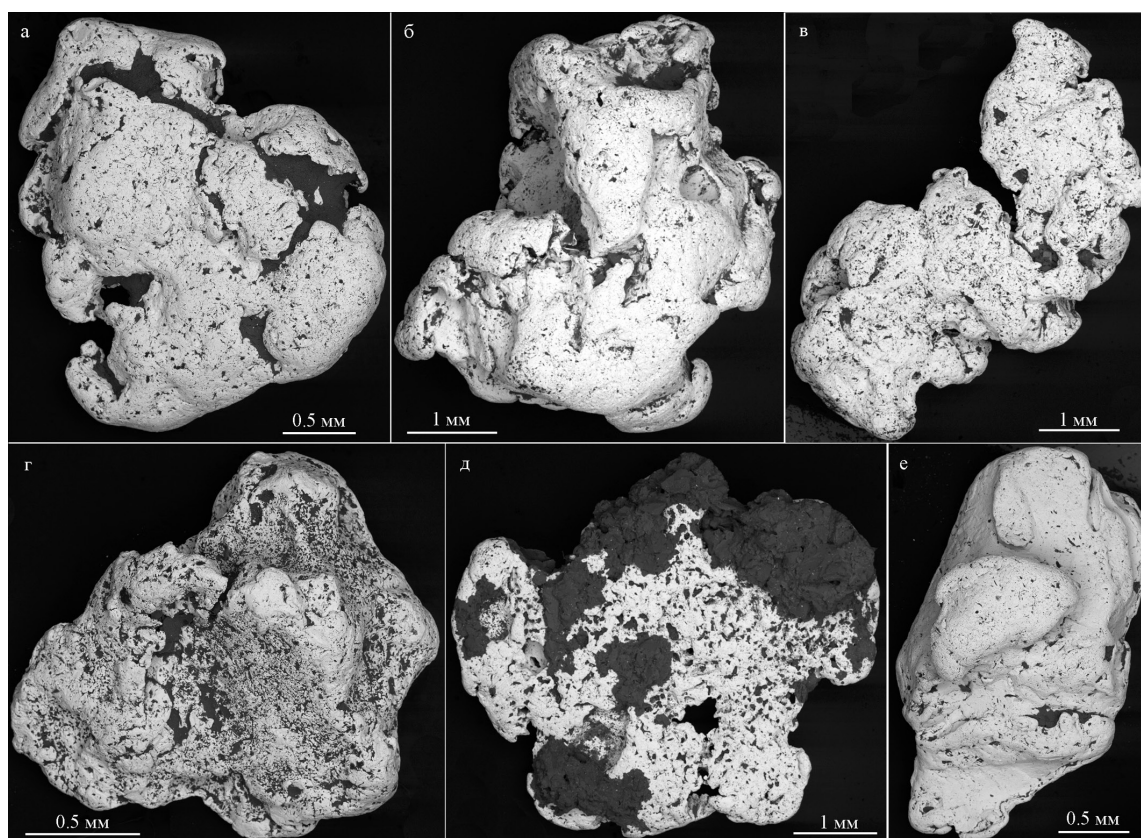


Рис. 3. Формы выделения золота Каменно-Санарской россыпи (BSE фото):

а, б, е – хорошо окатанное, в–д – среднеокатанное. Все золотины, кроме золотины на фото в – высокопробные. Темное – вроски кварца (а) и лимонита (д).

Fig. 3. Morphology of gold from the Kamennaya Sanarka placer (BSE photo):

а, б, е – well-rounded, в–д – medium-rounded. All gold grains, except for that in в, are characterized by high fineness. Figs. Dark inclusions – quartz (а) and limonite (д) ingrowths.

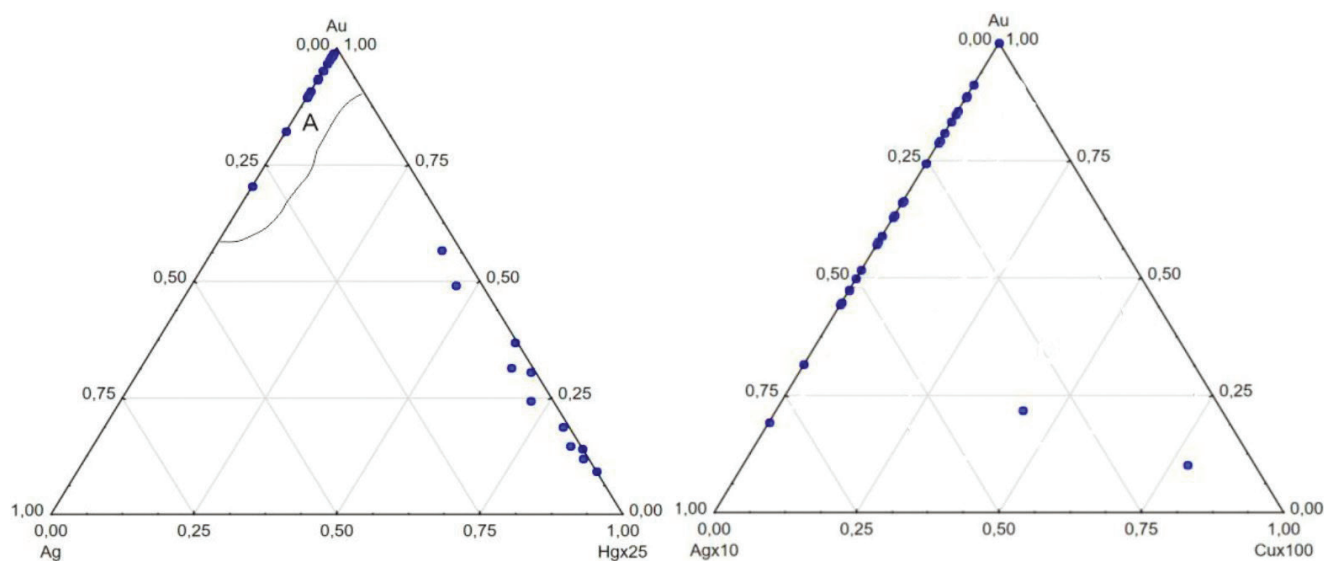


Рис. 4. Химический состав самородного золота.

А – состав самородного золота орогенных гидротермальных месторождений (Omang et al., 2015).

Fig. 4. Chemical composition of native gold.

А – composition of native gold from orogenic hydrothermal deposit (Omang et al., 2015).

в гнейсах биргильдинской свиты (Пужаков и др., 2018), на основании чего можно предположить, что коренным источником галенита может являться плотик Каменно-Санарской россыпи. Пироморфит характерен для зон гипергенеза свинцовых месторождений (Яхонтова, Грудев, 1987), а в россыпи он встречается в виде неокатанных кристаллов. Таким образом, коренным источником галенита и пироморфита служат сульфидные или сульфидно-кварцевые жилы, расположенные в кристаллических сланцах и гнейсах плотика.

Самородное золото в россыпи неоднородно по своим морфологическим особенностям и химическому составу. Установлены окатанные зерна, источником которых являются кварцевые жилы, связанные с гранитоидным магматизмом, описанные в районе (Сазонов и др., 2001). Также присутствуют изометричные, дендритовидные и пластинчатые индивиды самородного золота, морфология которых свидетельствует о его незначительном переносе от коренного источника, которым, предположительно, являются коренные метаморфические породы плотика, содержащие галенитовые жилы или кварцевые жилы с золото-сульфидной минерализацией.

Примесь Hg в изученном самородном золоте может иметь природное или техногенное происхождение. Природная амальгамация золота характерна для эпitherмальных систем вследствие поздней тектоно-магматической активизации (Осовецкий, 2012), при этом концентрации элементов в самородном золоте будут взаимосвязаны (Мурзин, Малюгин, 1987). В самородном золоте из Каменно-Санарской россыпи отсутствует корреляция между Hg и другими примесями. Таким образом, ртутистое золото, скорее всего, сформировалось в результате локального привноса Hg, связанного с использованием старателями методики амальгамации при извлечении золота.

Заключение

В результате проведенных исследований установлены коренные источники шлихового материала в Каменно-Санарской россыпи. Во фракции +1 мм концентрируются минералы вмещающих гранит-кианит-ставролитовых сланцев биргильдинской толщи. Во фракции –0.5 мм преобладают акцессорные минералы гранитов (монацит, циркон, минералы группы колумбит-танталит); фракция –1 + 0.5 мм является промежуточной по своему минеральному составу. Источниками редких минералов являются жилы пегматитов и кварцевые жилы,

залегающие во вмещающих гранитах и сланцах. Присутствие мраморизованных известняков в области сноса обуславливает наличие розовой шпинели и корунда в крупной фракции. На основе морфологии и химического состава самородного золота предполагается два его источника: золото-(сульфидно)-кварцевые жилы в сланцах и гнейсах, слагающих плотик, а также золото дальнего переноса, связанное с кварцевыми жилами Каменно-Санарского гранитного массива.

Авторы благодарны В.Г. Крайнову (ООО «Кристалл») за предоставленные материалы и Е.В. Белогуб за помощь и консультации во время работы.

Литература

- Воробьев В.И.** (1903) О новом экземпляре эвклаза из россыпей Южного Урала. *Записки Императорского С.-Петербургского минералогического общества*. Часть 41. Вып. 1, 1048–1049.
- Кисин А.Ю.** (1991) Месторождения рубинов в мраморах (на примере Урала). Свердловск, УрО АН СССР, 131 с.
- Колисниченко С.В., Попов В.А.** (2008) Русская Бразилия на Южном Урале. Энциклопедия уральского камня. Челябинск, Москва, Санарка, 528 с.
- Мурзин В.В., Малюгин А.А.** (1987) Типоморфизм золота зоны гипергенеза (на примере Урала). Свердловск, УНЦ АН СССР, 96 с.
- Осовецкий Б.М.** (2012) Наноскульптура поверхности золота. Пермь, ПГНИУ, 232 с.
- Плотинская О.Ю., Грознова Е.О., Коваленкер В.А., Новоселов К.А., Зелтманн Р.** (2009) Минералогия и условия образования руд Березняковского рудного поля (Южный Урал, Россия). *Геология рудных месторождений*, 51(5), 414–443.
- Попова В.И., Попов В.А., Чуринов Е.И., Новгородцев Т.Ю., Вербская А.В., Колисниченко С.В.** (2010) Дополнения к минералогии шлихов из рыхлых отложений Чуксинско-Кучинского и Санарского участков (Челябинская область, Южный Урал). *Уральский минералогический сборник* № 17, 67–76.
- Пужаков Б.А., Шох В.Д., Щулькина Н.Е. и др.** (2018) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-41-XIII (Пласт). Объяснительная записка. Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 205 с.
- Пучков В.Н.** (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа, ДизайнПолиграфСервис, 280 с.

**Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Короте-
ев В.А., Поленов Ю.А.** (2001) Месторождения золота
Урала. Екатеринбург, УГГГА. 622 с.

**Omang B.O., Suh C.E., lehmann B., Vishiti A.,
chombong N.N., Fon A.N., Egbe J.A., Shemang E.M.**
(2015) Microchemical signature of alluvial gold from two
contrasting terrains in Cameroon. *Journal of African Earth
Sciences*, **112**, part A, 1–14.

Яхонтова Л.К., Грудев А.П. (1987) Минералогия
окисленных руд: справочное пособие. Москва, Недра.
198 с.

Vorob'ev V.I. (1903) [About a new specimen
of euclase from placers of the Southern Urals]. *Zapiski
Imperatorskogo S.-Peterburgskogo mineralogicheskogo
obshchestva [Notes of the Imperial St. Petersburg
Mineralogical Society]*, 41(1), 1048–1049. (in Russian)

Yahontova L.K., Grudev A.P. (1987) [Mineralogy
of oxidized ores: a reference guide]. Moscow, Nedra,
198 p. (in Russian)

References

Kisin A.Yu. (1991) [Deposits of rubies in marbles (on
example of the Urals)]. Sverdlovsk, UrO AN SSSR, 131 p.
(in Russian)

Kolisnichenko S.V., Popov V.A. (2008) [Russian
Brazil in the South Urals. Encyclopedia of the Urals stone].
Chelyabinsk, Moscow, Sanarka, 528 p. (in Russian)

Murzin V.V., Malyugin A.A. (1987) [Typomorphism
of gold in the supergenesis zone (on example of the Urals)].
Sverdlovsk, UNTS AN SSSR, 96 p. (in Russian)

**Omang B.O., Suh C.E., Lehmann B., Vishiti A.,
Chombong N.N., Fon A.N., Egbe J.A., Shemang E.M.**
(2015) Microchemical signature of alluvial gold from two
contrasting terrains in Cameroon. *Journal of African Earth
Sciences*, **112**, part A, 1–14.

Osovetsky B.M. (2012) [Nanosculpture of the gold
surface]. Perm, PGNIU, 232 p. (in Russian)

**Plotinskaya O.Yu., Groznova E.O., Kovalen-
ker V.A., Novoselov K.A., Selmann R.** (2009) [Mineralogy
and formation conditions of ores in the Berezhnyakovskoe ore
field, the Southern Urals, Russia]. *Geology of Ore Deposits*,
51(5), 371.

**Popova V.I., Popov V.A., Churin E.I.,
Novgorodtseva T.Yu., Verbskaya A.V., Kolisnichenko
S.V.** (2010) [Addition to mineralogy of heavy concentrates
from losse sediments of the Chuksa-Kuchinskaya and
Sanarka area, Chelyabinsk district, South Urals]. *Uralskiy
mineralogicheskii sbornik № 17 [Urals Mineralogical
Collection No. 17]*, pp. 67–76. (in Russian)

Puchkov V.N. (2010) [Geology of the Urals and Cis-
Urals: topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics
and metallogeny]. Ufa, DesignPoligrafServis, 280 p. (in
Russian)

**Puzhakov B.A., Shokh V.D., Shchul'kina N.E., et
al.** (2018) [State Geological Map of the Russian Federation.
Scale 1 : 200 000. Second edition. The South Ural series.
Sheet N-41-XIII (Layer). Explanatory note]. Moskovskiy
filial FGBU VSEGEI, 205 p. (in Russian)

**Sazonov V.N., Ogorodnikov V.N., Koroteev V. A.,
Polenov Yu.A.** (2001) [Gold deposits of the Urals].
Yekaterinburg, UGGGA, 622 p. (in Russian)