

УДК 549, 553.08

DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-1-4

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА САМОРОДНОГО ЗОЛОТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ МУРТЫКТЫ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**Н.С. Чухарева, Е.В. Белогуб, Ю.А. Рыжкова, И.А. Блинов,
М.А. Рассомахин, К.А. Новоселов***Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН,
Институт минералогии, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; nau_2004@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 29.10.2020 г., принята к печати 09.02.2021 г.

FEATURES OF MORPHOLOGY AND CHEMICAL COMPOSITION OF NATIVE GOLD FROM THE MURTYKTY DEPOSIT, SOUTH URALS**N.S. Chukhareva, E.V. Belogub, Yu.A. Ryzhkova, I.A. Blinov, M.A. Rassomakhin, K.A. Novoselov***South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy, Miass,
Chelyabinsk oblast, 456317 Russia; nau_2004@mail.ru*

Received 29.10.2020, accepted 29.10.2020

Аннотация. В статье рассмотрены морфология и химический состав самородного золота на золоторудном месторождении Муртыкты (Южный Урал). Самородное золото разделено на пять типов: 1) включения в сульфидах, 2) в трещинах и интерстициях пирита и других сульфидов, 3) на границе сульфидов и нерудных минералов, 4) включения в нерудных минералах и их интерстициях и 5) свободное из протолок (условно). Изучен химический состав 128 золотин. По содержанию Ag (от 6.49 до 30.8 мас. %) самородное золото месторождения варьирует от высоко- до низкопробного (единичные зерна); для золота в сфалерите характерно присутствие Cu (от 0.85 до 2.27 мас %). При помощи программы Image Tool количественно оценены морфологические особенности 264 золотин. Морфологические характеристики золота из типов 1–4 отличаются незначительно. Полученные данные о морфологии и размере выделений самородного золота могут быть использованы для совершенствования технологии извлечения золота.

Ключевые слова: месторождение Муртыкты, самородное золото, Южный Урал.

Источник финансирования: Статья написана в рамках выполнения госбюджетной темы № АААА-А19-119061790049-3.

Abstract. The morphology and chemical composition of native gold from the Murtykty deposit (South Urals) are discussed in the paper. Native gold is subdivided into five types: 1) inclusions in sulfides, 2) grains in fractures and interstices of pyrite and other sulfides, 3) grains at the boundaries of sulfides and gangue minerals, 4) inclusions in gangue minerals and their interstices and 5) «free» grains from heavy concentrates. The chemical composition of 128 gold grains is studied. In accordance with Ag content (from 6.49 to 30.8 wt. %), native gold from the deposit varies from high- to low-fineness (rare grains). Native gold in sphalerite contains Cu (0.85–2.27 wt. %). The morphological features of 264 gold grains are quantified using Image Tool software. The morphological characteristics of native gold from types 1–4 are similar. The data on morphology and size of native gold grains can be used for improvement of technology of gold extraction.

Keywords: Murtykty deposit, native gold, South Urals.

Funding information: Статья написана в рамках выполнения госбюджетной темы № АААА-А19-119061790049-3.

Для цитирования: Чухарева Н.С., Белогуб Е.В., Рыжкова Ю.А., Блинов И.А., Рассомахин М.А., Новоселов К.А. Особенности морфологии и химического состава самородного золота месторождения Муртыкты (Южный Урал) Минералогия, 7(1), 54–65. DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-1-4.

For citation: Chukhareva N.S., Belogub E.V., Ryzhkova Yu.A., Blinov I.A., Rassomakhin M.A., Novoselov K.A. Features of morphology and chemical composition of native gold from the Murtykty deposit, South Urals Mineralogy, 7(1), 54–65. DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-1-4.

Введение

Золото является одним из самых дорогих металлов, и в связи с его неизменно высоким спросом совершенствование технологии его извлечения из руд не теряет актуальности. Технологические свойства руд, содержащих золото, определяются как минеральной формой частиц, так и морфологией самородного золота, а также минеральным составом вмещающей матрицы. Южный Урал относится к числу основных золотодобывающих регионов России и, несмотря на более чем двухсотлетнюю историю освоения, до сих пор обладает значительными ресурсами рудного золота (Знаменский, 2009; О состоянии..., 2019). На сегодняшний день золоторудное месторождение Муртыкты является одним из крупнейших по разведанным запасам золота в Республике Башкортостан.

Месторождение расположено в Учалинском районе, в 25 км к северо-востоку от г. Учалы и одноименного гигантского колчеданного месторождения. Месторождение известно с 1890 г. и в разные годы обрабатывалось старательским способом с поверхности и изучалось разными геологическими коллективами: О.А. Нестояновой, Ф.И. Ковалевым, Я.Я. Вецлер, М.Ш. Биковым, Б.М. Садрисламовым, Т.И. Фроловой, В.С. Шарфман, Н.С. Лазаревым, Б.Д. Магадеевым, В.А. Масловым, И.С. Анисимовым, А.П. Бахтиной и др. (Макарова, 2013).

В настоящий момент ЗАО НПФ «Башкирская золотодобывающая компания» производит доизучение месторождения Муртыкты с попутной добычей открытым способом. При разработке технологической схемы было установлено, что для руд характерна пространственная изменчивость, и они являются упорными с точки зрения извлечения гидрометаллургическим способом. По данным добывающей компании отношение $Au_{\text{щ}}/Au_{\text{общ}}$ (доля золота, извлекаемого при цианировании), которое можно рассматривать как критерий упорности руд, составляет примерно 0.5. Как известно, основная причина упорности золотых руд заключается в их вещественном, прежде всего, минералогическом составе (Мостович, 1923; Yannopoulos, 1991; Chryssoulis, McMullen, 2016). Данная работа обобщает и систематизирует накопленную информацию о составе и морфологических особенностях самородного золота месторождения Муртыкты.

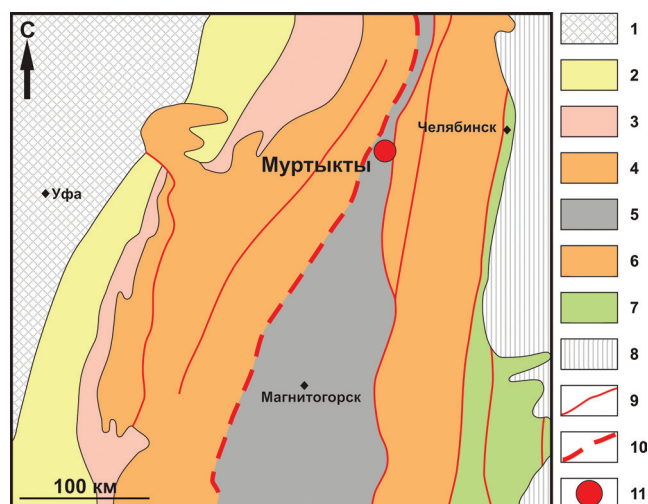


Рис. 1. Положение месторождения Муртыкты на тектонической карте Южного Урала по (Геологическая..., 2001) с упрощениями.

1 – Восточно-Европейская платформа; 2 – Предуральский прогиб; 3 – Западно-Уральская зона; 4 – Центрально-Уральская зона; 5 – Магнитогорская зона; 6 – Восточно-Уральская зона; 7 – Зауральская зона; 8 – Западно-Сибирская плита; 9 – региональные разломы; 10 – Главный Уральский разлом; 11 – месторождение Муртыкты.

Fig. 1. Position of the Murtykty deposit on tectonic map of the South Urals, modified after (Geological..., 2001).

1 – East European platform; 2 – Pre-Uralian foredeep; 3 – West Uralian zone; 4 – Central Uralian zone; 5 – Magnitogorsk zone; 6 – East Uralian zone; 7 – Trans-Uralian zone; 8 – West Siberian plate; 9 – regional faults; 10 – Main Uralian fault; 11 – Murtykty deposit.

Краткая характеристика геологического строения

Месторождение Муртыкты расположено в северо-восточной части Магнитогорского мегасинклинория в зоне Тунгатаровского разлома (рис. 1). Региональная структурная позиция месторождения определяется приуроченностью к узлам пересечения разломов, в которых контролирующие золото структурные узлы включают взбросо-надвиговые нарушения северо-восточного простирания (Знаменский, 2010). Месторождение Муртыкты относится к полигенно-полихронному вулканогенно-осадочно-гидротермальному генетическому типу (Сазонов и др., 1999).

Рудовмещающими на месторождении являются вулканогенно-осадочные породы ирендыкской и карамалыташской свит (D_2) (Сазонов и др., 1999; Novoselov, Belogub, 2005; Серавкин и др., 2013),

которые были сформированы в островодужную стадию развития региона. Золотое оруденение локализовано в зоне интенсивного расланцевания, в пределах которой породы сильно хлоритизированы, окварцованы, серицитизированы, насыщены пиритом и карбонатизированы (Бахтина, 1985; Сазонов и др., 1999; Салихов и др., 2003). Для месторождения характерно пространственное совмещение золотоносной пиритовой минерализации, сингенетичной вмещающим породам, и эпигенетического прожилково-вкрапленного сульфидного и жильно-прожилкового кварц-сульфидного оруденения (Знаменский, 2010).

Сланцеватость и основные разрывные нарушения, преимущественно субвертикальные, имеют субмеридиональное простирание (рис. 2). Сланцеватость согласна с направлением зоны Главного Уральского разлома. На месторождении выделены три рудные зоны: Западная (включая участок Ик-Давлят), Промежуточная и Восточная.

Запасы руды категории С1 + С2 оцениваются в 4.372 млн т руды, золота – 27.854 т, серебра – 52.9 т при среднем содержании золота – 6.4 г/т и серебра 12.1 г/т. Также на месторождении были подсчитаны запасы попутных компонентов по категории С2 – цинка, серы, кадмия, индия, теллура (<http://www.mineral.ru/News/45147.html>).

Рудная минерализация на месторождении Муртыкты вкрапленная, прожилковая, прожилково-вкрапленная, гнездово-вкрапленная и массивная, по минеральному составу может быть разделена на пиритовую и полисульфидную. Структуры руд гип- и аллотриоморфнозернистые, катакластические. Среди рудных минералов преобладает пирит, широко распространены сфалерит, галенит, халькопирит, второстепенные и редкие – пирротин, блеклые руды ряда теннантит–тетраэдрит, самородное золото, теллуриды (гессит, петцит, алтаит, колорадоит (Падучина и др., 2019)). Нерудная матрица состоит из кварца, хлорита, серицита, карбонатов ряда доломит-анкерит, реже – кальцита, сидерита, а также в незначительных количествах – альбита.

Материалы и методы исследования

Образцы для изучения отбирались из керна скважин, разведочных борозд и карьеров Западной, Восточной и Промежуточной зон месторождения. Все исследования проведены в Институте минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (г. Миасс). Оптические исследования проводились с помощью

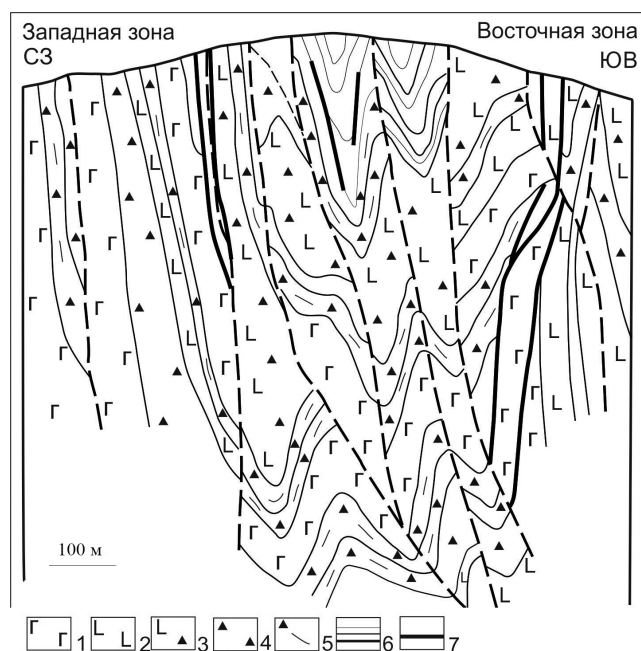


Рис. 2. Геологический разрез через Западную и Восточную зоны месторождения Муртыкты по (Знаменский, 1992) с упрощениями.

1 – долериты и долеритовые порфириды; 2 – базальтовые и андезибазальтовые порфириды; 3 – туфы и туффиты основного состава; 4 – туфогравелиты; 5 – переслаивание кремнистых сланцев, туфопесчаников и туфогравелитов; 6 – кремнистые сланцы с прослоями вулканомиктовых пород; 7 – зоны оруденения.

Fig. 2. Cross-section of the Western and Eastern zones of the Murtykty deposit, simplified after (Znamensky, 1992).

1 – dolerites and dolerite porphyrites; 2 – porphyry basalts and basaltic andesites, 3 – mafic tuffs and tuffites; 4 – tuff gravelites; 5 – alternation of siliceous shales, tuff sandstones and tuff gravelites; 6 – siliceous shales with interlayers of volcanomictic rocks; 7 – mineralized zones.

поляризационного микроскопа AxioScope A.1 с цифровой приставкой. Для определения химического состава минералов использовался растровый электронный микроскоп Tescan Vega3 SBU с ЭДС Oxford Instruments X-act (аналитики М.А. Рассомахин, И.А. Блинов), в качестве эталонов использованы чистые металлы. Изучен химический состав 128 золотин.

Морфологические характеристики 264 зерен самородного золота количественно подсчитаны в программе Image Tool. Измеряемые характеристики включали: 1) площадь сечения зерна (мкм², максимальное, минимальное и среднее значения, медиана и стандартное отклонение), 2) периметр зерна (мкм, максимальное, минимальное и среднее значения, медиана и стандартное отклонение),

3) размер длинной оси a_{max} (мкм, максимальное, минимальное и среднее значения, медиана и стандартное отклонение), 4) размер короткой оси a_{min} (мкм, максимальное, минимальное и среднее значения, медиана и стандартное отклонение), 5) удлиненность Elongation (максимальное, минимальное и среднее значения, медиана и стандартное отклонение), 6) округлость Roundness (максимальное, минимальное и среднее значения, медиана и стандартное отклонение), 7) Ферет-диаметр Feret Diameter (диаметр окружности, площадь которой соответствует площади измеренного объекта) (мкм, максимальное, минимальное и среднее значения, медиана, стандартное отклонение) и 8) компактность Compactness (максимальное, ми-

нимальное и среднее значения, медиана, стандартное отклонение).

Результаты исследований

Самородное золото на месторождении представлено зернами разнообразной морфологии размером до 0.7 мм. В соответствии с положением во вмещающих минералах, зерна самородного золота были разделены нами на пять типов: 1) включения в сульфидах (рис. 3а, б), 2) зерна в трещинах и интерстициях пирита и других сульфидов (рис. 3в), 3) зерна на границе сульфидов и нерудных минералов (рис. 3г), 4) включения в нерудных минералах и их интерстициях (рис. 3г) и 5) «свободное» само-

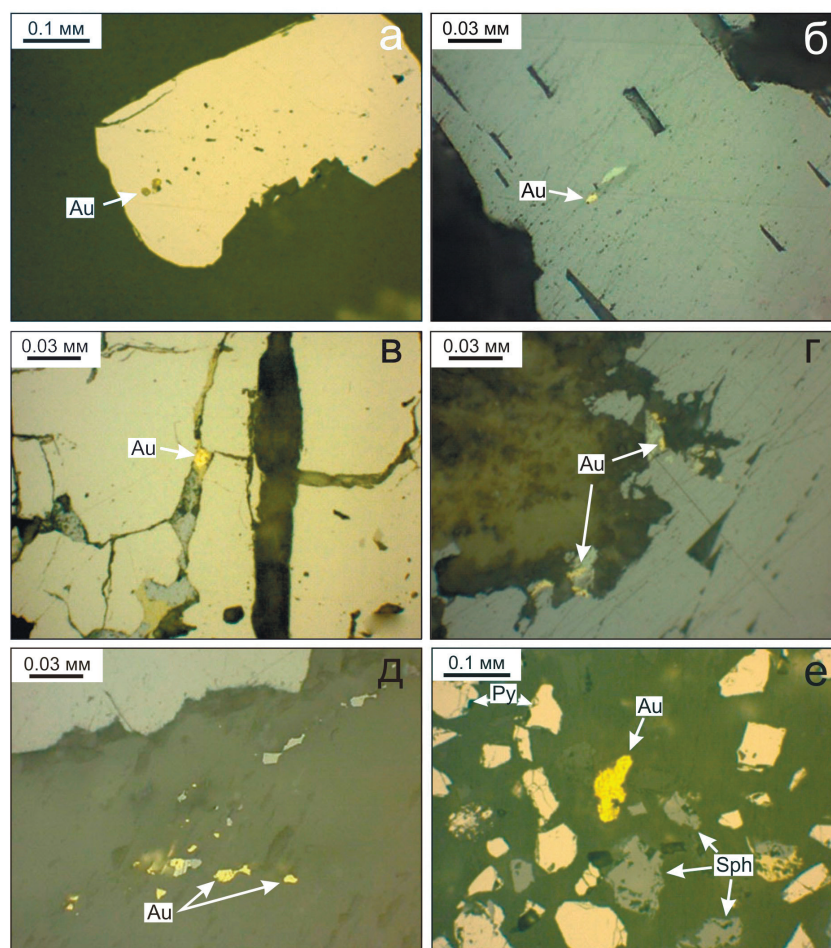


Рис. 3. Типы самородного золота месторождения Муртыкты:

а – включение золота в пирите (тип 1); б – золото в галените с блеклой рудой и теллуридом (тип 1); в – золото в трещинах в сульфидах (тип 2); г – золото в сростании с алтаитом на границе галенит/нерудный минерал (тип 3); д – золото в нерудной матрице в ассоциации с галенитом (тип 4); е – «свободное» золото (тип 5).

Fig. 3. Types of native gold of the Murtykty deposit:

а – inclusion of native gold in pyrite (type 1); б – native gold in galena with fahlore and telluride (type 1); в – native gold in fractures of sulfides (type 2); г – native gold intergrown with altaite at the boundary of galena and gangue mineral (type 3); д – gold in gangue minerals in assemblage with galena (type 4); е – «free» particle of native gold (type 5).

родное золото, выделенное из протолочек (рис. 3е). Самородное золото часто ассоциирует с галенитом, сфалеритом, блеклой рудой, теллуридами.

В соответствии с классификацией (Петровская, 1973) по содержанию Ag самородное золото месторождения Муртыкты варьирует от высоко- до низкопробного (единичные анализы). Среднеарифметическое содержание Au составляет 87.4 мас. % при стандартном отклонении 6.9 мас. %, медианное значение 90.8 мас. % (Падучина и др., 2019).

Тип 1 представлен самородным золотом в виде включений в сульфидах, главным образом, в пирите, реже – в сфалерите, галените и халькопирите. Форма сечений золотин близка к изометрической. Во включениях золотины срastaются с теллуридами (петцитом, гесситом) и сульфидами (галенитом). Этот тип характеризуется пробностью 760–940 ‰, преимущественно в диапазонах 820–890 и 910–940 ‰ (рис. 4). Самые высокие содержания Ag (23.91 мас. %) наблюдаются в золотилах, расположенных в пирите. Более 10 % от общего количества золотин содержат примесь Cu от 0.85 до 2.27 мас. %; Cu свойственна включениям золота в сфалерите (табл. 1).

Тип 2 включает самородное золото в трещинах пирита и на контакте различных сульфидов. Золотины этого типа часто срastaются с алтаитом, блеклой рудой и другими (более поздними по сравнению с матрицей) сульфидами. Содержание Ag в этом типе золотин колеблется от 6.74 до 30.8 мас. %, большая часть анализов укладывается в диапазон пробности (900–940 ‰) (рис. 4), а зерна с высоким содержанием Ag единичны и встречены в трещине пирита в ассоциации с алтаитом. В 25 % золотин данного типа присутствует примесь Cu (0.5–1.71 мас. %) (табл. 1).

Тип 3 представлен золотилами на контакте сульфидов (пирита, галенита, сфалерита) с нерудными минералами. Самородное золото этого типа характеризуется содержаниями Ag 6.80–17.52 мас. %, большая часть анализов попадает в диапазон пробности 910–940 ‰, в то время как лишь единичные характеризуются значениями Ag 14–18 мас. % (табл. 1, рис. 4). В одном зерне присутствует примесь Cu 1.06 мас. %.

Тип 4 характеризует самородное золото в виде включений в нерудных минералах, часто срastaющееся с сульфидами, преимущественно, с галенитом. Содержания Ag в нем колеблются от 6.02 до 26.37 мас. %, при этом больше 80 % золота является высокопробным (910–940 ‰) (рис. 4). В одной золотине содержания Cu составили 0.20 мас. % (табл. 1).

Тип 5 представляет «свободное» золото размером до 700 мкм из протолочек богатых окисленных руд, представленных тонкими секущими кварцевыми прожилками (по неопубликованным данным Е.В. Белогуб и К.А. Новоселова 2018 г.), содержания Ag в котором составляют 4.65–17.18 мас. %. В данной группе отсутствуют золотины с примесью Cu, но были отмечены сплавы Au-Ag-Hg (Белогуб, 2009).

На долю высокопробного золота приходится почти 90 % всего золота месторождения (табл. 2). Диапазон пробности 910–930 ‰ преобладает для всех морфологических типов самородного золота. В типах 2–4 минерал такого состава резко преобладает, а в типе 1 присутствует значительное количество зерен самородного золота с более низкой пробностью 850–860 ‰, вследствие чего гистограмма пробности приобретает бимодальный характер (рис. 4). Пробность золота не зависит в целом от того, с какими минералами оно ассоциирует (см. табл. 1). Максимальное количество Ag отмечено в золотине, заключенной в карбонат.

Морфологические характеристики золота типов 1–4 сходны (табл. 3). В аншлифах самые крупные выделения отмечены на контакте сульфидов с нерудными минералами, при этом эти золотины – самые компактные, в то время как наиболее вытянутые в сечении характерны для пластинчатых золотин, находящихся в трещинах сульфидов и в виде включений в них. Размеры зерен самородного золота в основном объеме руд, исключая самородное золото из редко встречающихся секущих прожилков, составляют первые десятки микрометров, редко достигая средних значений >50 мкм по минимальному измерению. Максимальный средний Ферет-диаметр установлен для золотин, локализованных на контакте сульфид/нерудный минерал. Однако золотины этого типа, как и золотины из трещин в сульфидах имеют уплощенную форму.

Обсуждение

В целом золото из месторождений золото-кварцевого типа более высокопробное, в то время как золото из золото-сульфидных ассоциаций содержит больше Ag, а примесь Cu обычно связывается с присутствием среди вмещающих оруденение пород ультрамафитов (Петровская, 1973, Новгорова, 1983; Morrison et al., 1991).

Таблица 1

Химический состав золота разных типов (мас. %)

Table 1

Chemical composition of gold types (wt. %)

№ п/п	№ ан	Ag	Au	Cu	Сумма	Формула	Примечание
Тип 1. Включения в сульфидах							
В пирите							
1	17408с	7.29	92.71	–	100.0	Au _{0.87} Ag _{0.13}	
2	18368а	7.17	92.22	–	99.39	Au _{0.88} Ag _{0.12}	
3	18368b	7.23	93.04	–	100.27	Au _{0.88} Ag _{0.12}	
4	18368е	6.83	93.83	–	100.66	Au _{0.88} Ag _{0.12}	
5	18368g	17.41	82.63	–	100.04	Au _{0.72} Ag _{0.28}	
6	18497с	26.88	72.68	–	99.57	Au _{0.60} Ag _{0.40}	в поре
7	18338d	14.38	85.16	–	99.54	Au _{0.76} Ag _{0.24}	
8	18338е	14.62	85.38	–	100.0	Au _{0.76} Ag _{0.24}	
9	18339с	12.88	87.12	–	100.0	Au _{0.79} Ag _{0.21}	
10	19355m	12.46	87.98	–	100.44	Au _{0.79} Ag _{0.21}	
11	19022а	13.91	86.43	–	100.34	Au _{0.77} Ag _{0.23}	
12	18508b	12.8	87.72	–	100.52	Au _{0.79} Ag _{0.21}	
13	18507b	9.07	91.52	–	100.59	Au _{0.85} Ag _{0.15}	
14	18507а	13.33	87.53	–	100.86	Au _{0.78} Ag _{0.22}	
15	18138а	20.04	79.32	–	99.36	Au _{0.68} Ag _{0.32}	
16	20288а	23.91	76.72	–	100.63	Au _{0.64} Ag _{0.36}	в поре, в зональном пирите
В пирите в ассоциации с другими минералами							
17	18337d	6.68	93.0	–	99.68	Au _{0.88} Ag _{0.12}	с петцитом
18	18337а	15.92	83.74	–	99.66	Au _{0.74} Ag _{0.26}	с петцитом и гесситом
19	18444с	15.29	84.23	–	99.52	Au _{0.75} Ag _{0.25}	с гесситом, петцитом, галенитом, сфалеритом
20	18338а	15.37	84.16	–	99.54	Au _{0.75} Ag _{0.25}	
21	19019о	16.88	83.68	–	100.56	Au _{0.73} Ag _{0.27}	
22	18507g	11.0	88.02	–	99.02	Au _{0.81} Ag _{0.19}	с гесситом
23	18507j	14.72	85.88	–	100.6	Au _{0.76} Ag _{0.24}	
24	18369f	18.67	81.33	–	100.0	Au _{0.70} Ag _{0.30}	с теллуридами Au/Ag
25	19355о	16.05	83.95	–	100.0	Au _{0.74} Ag _{0.26}	с сидеритом
26	19019b	14.11	85.62	–	99.73	Au _{0.77} Ag _{0.23}	с гесситом и петцитом
27	18446а	7.23	92.75	–	99.98	Au _{0.88} Ag _{0.12}	с галенитом
28	18507l	6.49	93.45	–	99.94	Au _{0.89} Ag _{0.11}	с петцитом
В халькопирите							
29	19355j	17.72	82.42	–	100.14	Au _{0.72} Ag _{0.28}	
30	19355k	11.17	88.37	–	99.54	Au _{0.81} Ag _{0.19}	
31	19225u	7.58	93.34	–	100.92	Au _{0.87} Ag _{0.13}	
32	19022е	13.18	86.22	–	99.40	Au _{0.78} Ag _{0.22}	
В сфалерите							
33	20339i	7.12	91.89	0.85	99.86	Au _{0.87} Ag _{0.13} Cu _{0.02}	
34	20339j	7.37	91.7	0.99	100.06	Au _{0.87} Ag _{0.13} Cu _{0.03}	
35	19639d	6.49	93.1	–	99.58	Au _{0.89} Ag _{0.11}	
36	19639n	7.18	92.6	–	99.78	Au _{0.88} Ag _{0.12}	
37	18496е	25.92	73.94	–	99.85	Au _{0.61} Ag _{0.39}	пористое
38	18496f	26.85	72.53	–	99.37	Au _{0.60} Ag _{0.40}	
39	18140d	6.64	91.09	2.27	100.0	Au _{0.82} Ag _{0.12} Cu _{0.06}	
40	20339g	8.01	90.85	0.97	99.84	Au _{0.87} Ag _{0.13} Cu _{0.03}	с галенитом
41	20339h	7.57	90.95	1.06	99.58	Au _{0.84} Ag _{0.13} Cu _{0.03}	
В галените							
42	18496с	24.23	75.17	–	99.39	Au _{0.63} Ag _{0.37}	пористое
43	18496d	23.67	77.02	–	100.69	Au _{0.64} Ag _{0.36}	пористое в сростании с гесситом
44	18447b	6.93	93.88	–	100.81	Au _{0.88} Ag _{0.12}	сросток с галенитом (концентрат)
45	20339w	8.02	91.78	–	99.8	Au _{0.86} Ag _{0.14}	в краевой части галенитового агрегата

Тип 2. В трещинах в сульфидах							
В пирите							
46	17407e	7.72	90.72	1.56	100.0	Au _{0.83} Ag _{0.13} Cu _{0.04}	
47	17407f	7.71	90.58	1.71	100.0	Au _{0.82} Ag _{0.13} Cu _{0.05}	
48	18368d	6.74	92.5	–	99.24	Au _{0.88} Ag _{0.12}	
49	18444g	7.84	91.72	–	99.57	Au _{0.86} Ag _{0.14}	
50	19355n	15.38	84.62	–	100.0	Au _{0.75} Ag _{0.25}	
51	18446b	7.64	92.19	–	99.83	Au _{0.87} Ag _{0.13}	
В пирите в ассоциации с другими минералами							
52	17408f	11.45	88.55	–	100.0	Au _{0.81} Ag _{0.19}	с галенитом
53	18497a	22.01	78.21	–	100.22	Au _{0.66} Ag _{0.34}	
54	18445f	8.50	91.9	–	100.40	Au _{0.86} Ag _{0.14}	с галенитом и сфалеритом
55	20295a	24.52	75.75	–	100.27	Au _{0.63} Ag _{0.37}	с галенитом, пористое
56	17408b	9.87	89.63	0.50	100.0	Au _{0.82} Ag _{0.17} Cu _{0.01}	с галенитом и блеклой рудой
57	17407a	7.07	92.31	1.03	100.42	Au _{0.85} Ag _{0.12} Cu _{0.03}	с галенитом, сфалеритом и теллуридами Pb, Ag, Au-Ag
58	20297f	20.25	78.76	–	99.01	Au _{0.68} Ag _{0.32}	со сфалеритом, галенитом, пористое (концентрат)
59	17408e	30.8	69.2	–	100.0	Ag _{0.65} Au _{0.35}	с алтаитом
На контакте различных сульфидов							
60	19355g	8.94	91.7	–	100.64	Au _{0.85} Ag _{0.15}	пирит/халькопирит/сфалерит
61	19355h	8.95	91.8	–	100.76	Au _{0.85} Ag _{0.15}	
62	19355i	8.46	92.41	–	100.87	Au _{0.86} Ag _{0.14}	пирит/сфалерит пирит/халькопирит в ассоциации с гесситом
63	18444e	7.71	92.78	–	100.49	Au _{0.87} Ag _{0.13}	
64	20294f	14.06	85.99	–	100.05	Au _{0.77} Ag _{0.23}	
Тип 3. На границе нерудные минералы/сульфиды							
65	20342a	8.02	91.85	–	99.87	Au _{0.86} Ag _{0.14}	галенит/карбонат
66	20342j	6.80	93.03	–	99.82	Au _{0.88} Ag _{0.12}	кварц/сфалерит
67	20342k	7.90	91.43	–	99.33	Au _{0.86} Ag _{0.14}	сидерит/сфалерит
68	19355l	8.88	91.12	–	100.0	Au _{0.85} Ag _{0.15}	пирит/сфалерит/сидерит
69	19355e	7.40	92.41	–	99.81	Au _{0.87} Ag _{0.13}	пирит/нерудная масса
70	19225v	8.35	91.58	–	99.92	Au _{0.86} Ag _{0.14}	пирит/сидерит
71	19225l	17.52	82.01	–	99.53	Au _{0.72} Ag _{0.28}	пирит/карбонат, пористое золото
72	19225a	8.46	92.1	–	100.56	Au _{0.86} Ag _{0.14}	пирит/карбонат
Нерудные минералы/сульфиды, в ассоциации с другими минералами							
73	20339k	7.38	92.14	–	99.52	Au _{0.87} Ag _{0.13}	сидерит/сульфиды, с галенитом и сфалеритом
74	20339f	7.68	91.99	–	99.67	Au _{0.87} Ag _{0.13}	
75	20339d	7.07	92.62	–	99.68	Au _{0.88} Ag _{0.12}	сидерит/сфалерит, в сростании с галенитом и алтаитом
76	20339e	7.53	92.08	–	99.62	Au _{0.87} Ag _{0.13}	сидерит/сфалерит в сростании с галенитом
77	19225m	15.13	85.19	–	99.32	Au _{0.76} Ag _{0.24}	пирит/карбонат, в сростании с теллуридами
Тип 4. В нерудных минералах							
78	20339n	8.80	90.75	–	99.54	Au _{0.85} Ag _{0.15}	
79	20339o	8.55	91.41	–	99.96	Au _{0.85} Ag _{0.15}	
80	20339q	9.08	90.22	–	99.30	Au _{0.84} Ag _{0.16}	
81	19355d	7.60	92.59	–	100.2	Au _{0.87} Ag _{0.13}	
82	19355f	7.11	92.33	–	99.44	Au _{0.88} Ag _{0.12}	
83	20287a	25.07	74.75	–	99.82	Au _{0.62} Ag _{0.38}	
84	20287b	26.37	73.41	–	99.78	Au _{0.60} Ag _{0.40}	
85	20287c	14.15	85.48	–	99.63	Au _{0.77} Ag _{0.23}	
86	20287d	19.25	80.93	–	100.17	Au _{0.70} Ag _{0.30}	с галенитом
87	20287e	18.75	80.76	–	99.51	Au _{0.70} Ag _{0.30}	
88	20339v	6.02	93.49	0.20	99.71	Au _{0.89} Ag _{0.10} Cu _{0.01}	
89	20342c	8.51	91.45	–	99.96	Au _{0.85} Ag _{0.15}	
90	20342d	6.49	92.74	–	99.23	Au _{0.89} Ag _{0.11}	

91	19225x	8.26	92.32	–	100.58	Au _{0.86} Ag _{0.14}	
92	19225y	7.93	92.01	–	99.94	Au _{0.86} Ag _{0.14}	
93	20342g	7.49	91.99	–	99.48	Au _{0.87} Ag _{0.13}	
94	20342h	7.47	92.32	–	99.79	Au _{0.87} Ag _{0.13}	
95	20342i	6.37	93.16	–	99.53	Au _{0.89} Ag _{0.11}	
96	17411e	7.56	92.44	–	100.00	Au _{0.87} Ag _{0.13}	
97	17411g	7.29	92.71	–	100.00	Au _{0.87} Ag _{0.13}	
98	20339s	6.14	93.31	–	99.46	Au _{0.89} Ag _{0.11}	в сидерите
99	20339t	8.10	91.55	–	99.65	Au _{0.86} Ag _{0.14}	
100	20339u	6.71	93.00	–	99.71	Au _{0.88} Ag _{0.12}	
101	18507h	11.18	88.37	–	99.55	Au _{0.81} Ag _{0.19}	в кварце
102	18507c	12.60	87.52	–	99.68	Au _{0.80} Ag _{0.20}	в карбонатной массе
В нерудных минералах в ассоциации с сульфидами, теллуридами							
103	20339m	8.68	90.85	–	99.53	Au _{0.85} Ag _{0.15}	в сидерите в ассоциации с галенитом
104	20339p	8.76	91.09	–	99.85	Au _{0.85} Ag _{0.15}	в ассоциации с галенитом
105	20339r	7.84	92.07	–	99.91	Au _{0.87} Ag _{0.13}	
106	20342b	7.80	91.70	–	99.50	Au _{0.87} Ag _{0.13}	
107	20342f	8.02	91.49	–	99.52	Au _{0.86} Ag _{0.14}	
108	20342e	6.97	92.56	–	99.53	Au _{0.88} Ag _{0.12}	в ассоциации с теллуридами
109	17411f	9.09	90.91	–	100.00	Au _{0.85} Ag _{0.15}	в сростании с галенитом
110	17411b	8.24	91.76	–	100.00	Au _{0.86} Ag _{0.14}	в сростании со сфалеритом
111	19225c'	8.48	90.83	–	99.31	Au _{0.85} Ag _{0.15}	с теллуридами
112	19225z	8.46	91.82	–	100.27	Au _{0.86} Ag _{0.14}	в ассоциации с пиритом
113	19225r	8.74	91.38	–	100.12	Au _{0.85} Ag _{0.15}	в ассоциации с галенитом
114	19225s	8.27	91.59	–	99.86	Au _{0.86} Ag _{0.14}	
115	18445a	7.00	92.96	–	99.96	Au _{0.88} Ag _{0.12}	с алтаитом в карбонатной массе
5. Свободное золото из концентратов							
116	19640b	5.30	94.23	–	99.53	Au _{0.91} Ag _{0.09}	
117	19640a	4.65	94.92	–	99.57	Au _{0.92} Ag _{0.08}	
118	20297g	16.07	84.00	–	100.07	Au _{0.74} Ag _{0.26}	
119	20297e	16.11	84.25	–	100.36	Au _{0.74} Ag _{0.26}	
120	20297b	17.18	82.82	–	100.00	Au _{0.73} Ag _{0.27}	
121	18367a	6.11	94.63	–	100.74	Au _{0.89} Ag _{0.11}	
122	18447a	6.19	93.47	–	99.67	Au _{0.89} Ag _{0.11}	
123	14119u	8.95	90.91	–	99.96	Au _{0.84} Ag _{0.15}	
124	14119u'	8.43	91.21	–	99.86	Au _{0.85} Ag _{0.15}	
125	14119v	8.58	91.11	–	99.64	Au _{0.85} Ag _{0.15}	
126	14119t	4.46	95.49	–	99.69	Au _{0.92} Ag _{0.08}	
127	14119s	4.50	95.13	–	99.95	Au _{0.91} Ag _{0.08}	
128	14119r	4.18	95.54	–	99.63	Au _{0.92} Ag _{0.08}	

Примечание. Прочерк – не определено. Формулы рассчитаны на сумму элементов, равную 1. Анализы 123–128 – золото из поздних прожилков (Белогуб, 2009).

Note. Dash – not determined. Formulas are recalculated to metal sum of 1. Analyses 123–128 – gold from late veinlets (Belogub, 2009).

Полученные нами результаты показывают, что состав золота из включений в сульфидах и нерудной массе значительно варьирует и не зависит от минерала-хозяина. Состав золота из трещин в сульфидах, контактов сульфидов и нерудных минералов и заключенного в нерудных минералах косвенно может указывать на две стадии образования самородного золота, в течение первой из которых образовалось более низкопробное золото типа 1 (800–860 ‰), во время последующей – более высокопробное (>900 ‰). Более высокие содержания Ag в целом отмечены для золота, ассоциирующе-

го с теллуридами, однако, встречаются единичные золотины, обогащенные Ag, вне теллуридной ассоциации. Состав «свободного» золота из секущих поздних карбонатно-кварцевых прожилков соответствует как очень высокопробному золоту (900–950 ‰), так и умеренно-низкопробному (Белогуб, 2009). В сходных секущих прожилках на участке Ик-Давлят (Учалинский район, Республика Башкортостан) были обнаружены амальгамиды Au и Ag, а высокопробное золото имело «горчичную» структуру и связывалось с окислением теллуридов (Белогуб и др., 2006).

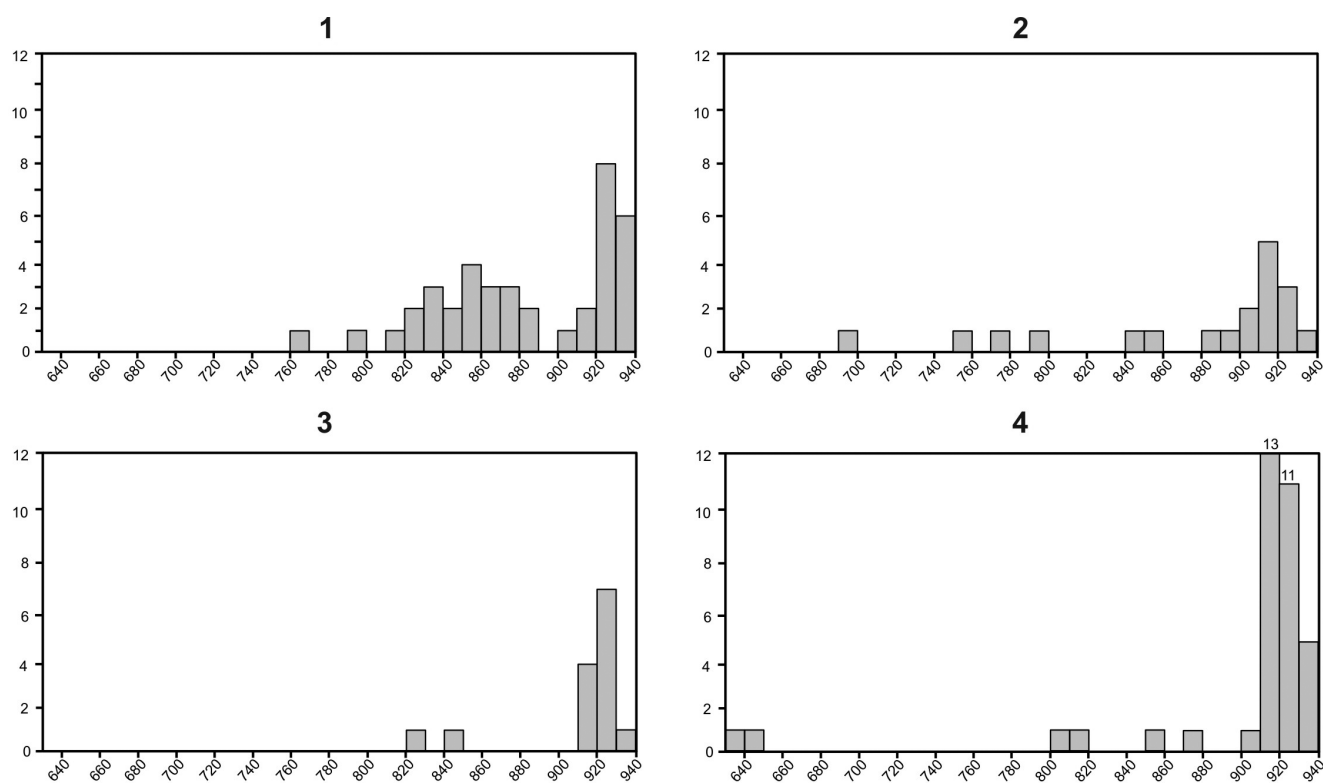


Рис. 4. Пробность самородного золота в зависимости от его типа.

Fig. 4. Fineness of native gold depending on its type.

Распределение золота по пробности в выделенных типах (количество анализов)

Таблица 2

Table 2

Distribution of gold by fineness in gold types (number of analyses)

Тип золота	Пробность, ‰			
	900–950	800–899	700–799	600–699
1	18	20	7	
2	11	4	3	1
3	11	2		
4	31	5	2	
Сумма	71 (61.7 %)	31 (27 %)	12 (10.4 %)	1 (0.9 %)

По нашему мнению, часть золота месторождения имеет черты сходства с золотом из колчеданных руд. Состав самородного золота в рудах колчеданных месторождений значительно варьирует в зависимости от минеральной ассоциации. Его пробность колеблется от 530 до 920 ‰, максимум по частоте встречаемости приходится на интервал 830–850 ‰ (Викентьев, 2004; Масленникова, Масленников, 2007; Масленников и др., 2019). Этому интервалу примерно соответствует первый максимум составов золота из включений в сульфидах на месторождении Муртыкты, что не противоречит предположению о синвулканогенной природе первичного накопления золота на месторождении (Сазонов и др., 1999).

На месторождениях березит-лиственитовой формации Южного Урала, как правило, золото с пробностью выше 900 ‰ характерно для метасоматитов с вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализацией (Мечниковское, Ганеевское) и значительные вариации пробности от 700 ‰ и выше – для золота из более поздних кварцевых жил, часто ассоциирующего с теллуридами (Октябрьское, Алтын-Таш) (Belogub et al., 2017). На месторождении Муртыкты более низкопробное золото характерно для более ранней стадии рудобразования, характеризующейся образованием рассеянной вкрапленности сульфидов в вулканогенно-обломочных породах, а более высокопробное – для более поздней, гнездово-прожилковой, которая

Таблица 3

Морфологические характеристики золота по результатам обработки в программе Image Tool

Table 3

Morphological characteristics of gold according to the results of processing in Image Tool program

	S, мкм ²	P, мкм	Длина Главной Оси, Мкм	Длина Малой Оси, Мкм	Удлиненность	Округлость	Ферет- диаметр, мкм	Компакт- ность
Тип 1. Включения в сульфидах								
Максимум	22820.1	1435.7	262.0	168.5	19.3	1.30	170.5	1.10
Минимум	0.20	2.60	0.90	0.0	1.00	0.10	0.50	0.20
Среднее	982.2	130.5	29.8	13.3	2.80	0.40	16.6	0.60
Медиана	35.5	36.7	11.6	4.80	1.90	0.30	6.70	0.60
Стандартное отклонение	3584.7	278.1	52.7	26.7	2.90	0.20	31.5	0.20
Тип 2. В трещинах в сульфидах								
Максимум	8533.5	912.6	213.0	94.2	8.30	0.60	104.2	0.80
Минимум	3.50	10.9	3.50	1.00	1.30	0.10	2.10	0.30
Среднее	1230.4	211.6	58.9	22.0	3.10	0.30	29.3	0.50
Медиана	377.8	125.7	36.1	16.5	2.20	0.300	21.9	0.50
Стандартное Отклонение	2273.1	229.6	59.6	21.4	2.00	0.20	27.4	0.20
Тип 3. На границе сульфид/нерудный минерал								
Максимум	30346.0	1875.4	344.1	201.5	4.10	0.50	196.6	0.80
Минимум	1.80	7.40	1.80	1.50	1.20	0.10	1.50	0.40
Среднее	4011.5	310.7	72.7	41.0	1.90	0.30	45.2	0.60
Медиана	8563.3	462.9	94.2	54.1	0.70	0.20	57.1	0.10
Стандартное отклонение	8563.3	462.9	94.2	54.1	0.70	0.20	57.1	0.10
Тип 4. Включения в нерудных минералах								
Максимум	67856.0	4744.5	903.8	323.0	5.60	0.70	293.9	0.80
Минимум	2.80	9.20	3.20	1.00	1.10	0.10	1.90	0.30
Среднее	2705.4	306.6	68.0	28.7	2.20	0.30	31.5	0.60
Медиана	188.6	85.0	22.3	13.2	1.80	0.30	15.5	0.60
Стандартное отклонение	11246.2	788.6	150.8	53.8	1.00	0.20	50.2	0.10

связана с карбонатно-кварцевым метасоматозом. Состав образующегося на более поздней стадии золота соответствует таковому из метасоматитов березит-лиственитовой формации, но отличается значительно более высокой пробностью от состава золота, ассоциирующего с теллуридами из кварцевых жил на месторождениях, связанных с метасоматитами этой формацией.

Описанные морфологические и гранулометрические характеристики золота неблагоприятны для гравитационного извлечения (Бочаров, Абрютин, 2011). Применение гидрометаллургических методов ограничивается значительным распространением теллуридной формы золота (Падучина и др., 2019).

Закключение

Таким образом, на месторождении Муртыкты преобладает высокопробное (900–950 ‰) и умерен-

но высокопробное золото (800–899 ‰), суммарно составляющие около 90 % от проанализированных золотин. Только 9.8 % от общего количества приходится на относительно низкопробное золото (700–799 ‰). Более низкопробное золото чаще встречается в виде включений в сульфидах, преимущественно – в пирите. Состав самородного золота из включений в различных сульфидах сходен. Включения самородного золота в сфалерите чаще характеризуются присутствием в составе Cu. Самородное золото на месторождении характеризуется мелкими размерами за исключением золота из редких секущих прожилков и частой ассоциацией с теллуридами Pb, Au и Ag. Все перечисленное осложняет обогащение руд как гравитационными, так и гидрометаллургическими методами. Полученные данные о морфологии и размере выделений самородного золота могут быть использованы для совершенствования технологической схемы извлечения золота.

Авторы признательны руководству ЗАО НПФ «Башкирская золотодобывающая компания» за возможность работать с рудами месторождения.

Литература

Геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист N-40 (41) (2001) (под ред. В.И. Козлова). Уфа.

Бахтина А.П. (1985) Состав и закономерности формирования метасоматитов на золото-полиметаллическом месторождении Урала: Автореф. дис. ... к. г.-м. н. Свердловск, ИГиГ УНЦ АН СССР, 24 с.

Белогуб Е.В. (2009) Гипергенез сульфидных месторождений Южного Урала. *Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук*. Санкт-Петербург, СПбГУ, 617 с.

Белогуб Е.В. (2018ф) Информационный отчет о результатах минералогического и петрографического изучения руд и вмещающих пород Муртыктинского месторождения (Башкортостан) в 2017–2018 гг. Миасс, ИМин УрО РАН, 47 с.

Белогуб Е.В., Новоселов К.А., Котляров В.А., Фаина И.Б. (2006) Минералогия окисленных руд золото-полиметаллического месторождения Ик-Давлят (Южный Урал). *Записки РМО*, 135(5), 35–43.

Бочаров В.А., Абрютин Д.В. (2011) Технология золотосодержащих руд. Москва, МИСиС, 420 с.

Викентьев И.В. (2004) Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. Москва, Научный мир, 338 с.

Знаменский С.Е. (1992) Структурные условия формирования коллизионных месторождений золота восточного склона Южного Урала. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук

Знаменский С.Е. (2010) Геологические условия образования и генезис золото-сульфидных месторождений Магнитогорской мегазоны. *Магматизм и метаморфизм в истории земли. XI Всероссийское петрографическое совещание*. Екатеринбург, УГГУ, 257–258.

Макарова В.Н. (2013) Геотуризм и «золотая пыль» столетий. Археография Южного Урала: окружающая среда, природные ресурсы и геологические памятники в истории, культуре и жизнеобеспечении народов Евразии. *Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной году окружающей среды*. Уфа, ИЭИ УНЦ РАН, 54–62.

Масленникова С.П., Масленников В.В. (2007) Сульфидные трубы палеозойских «Черных курильщинок» Екатеринбург-Миасс УрО РАН 312 с.

Масленников В.В., Масленникова С.П., Леин А.Ю. (2019) Минералогия и геохимия древних и современных черных курильщинок. Москва, РАН, 832 с.

Мостович В.Я. (1923) Цианирование теллуридов золота. *Известия Томского Технологического Института*, 44, 56–87.

Новгородова М.И. (1983) Самородные металлы в гидротермальных рудах М. Наука 287 с.

О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2018 году. Государственный доклад (2019) http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/

Падучина Ю.А., Чухарева Н.С., Новоселов К.А., Паленова Е.Е., Белогуб Е.В., Блинов И.А., Артемьев Д.А., Рассомахин М.А. (2019) Минералогия благородных металлов месторождения золота Муртыкты, Южный Урал. *Минералогия*, 5(2), 57–69.

Петровская Н.В. (1973) Самородное золото. М., Наука. 348 с.

Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А. (1999) Месторождения золота Урала. Екатеринбург, УГГА, 570 с.

Салихов Д.Н., Ковалев С.Г., Беликова Г.И., Бердников П.Г. (2003) Полезные ископаемые Республики Башкортостан (золото). Ч. 1. Уфа, Экология, 222 с.

Серавкин И.Б., Знаменский С.Е., Родичева З.И. (2013) Зональность размещения золоторудных месторождений Южного Урала. *Геологический сборник № 10*, Уфа, 225–235.

Chryssoulis S.L., McMullen J. (2016) Mineralogical Investigation of Gold Ores. *Gold ore processing (Second edition)* (ed. M.D. Adams). Amsterdam, Elsevier, 57–93.

Morrison G.W., Rose W.J., Jaireth S. (1991) Geological and geochemical controls on the silver content (fineness) of gold in gold-silver deposits. *Ore Geology Reviews*, 6(4), 333–364.

Novoselov K., Belogub E. (2005) Gold-polymetallic mineralisation of the P'inskoe ore field (South Urals). *Geochemistry, Mineralogy and Petrology*, 43, 138–141.

Yannopoulos J.C. (1991) The extractive metallurgy of gold. Van Nostrand Reinhold, New York, 282 p.

References

Belogub E.V. (2018) [Information report on results of mineralogical and petrographic study of ores and host rocks of the Murtykty deposit (Bashkortostan) in 2017–2018]. Miass, 47 p. (in Russian)

Belogub E.V. (2009) [Supergeneration of sulfide deposits in the southern Urals]. *Dissertation for of Doctor of Geological and Mineralogical Sciences*. St. Petersburg SPbGU, 617 p. (in Russian)

Belogub E.V., Novoselov K.A., Kotlyarov V.A., Fadina I.B. (2006) [Mineralogy of oxidized ores of the gold-polymetallic Deposit IK-Davlyat (southern Urals)]. *Zapiski RMO [Proceedings of Russian Mineralogical Society]*, 135(5), 35–43. (in Russian)

Bocharov V.A., Abryutin D.V. (2011) [Technology of gold-bearing ores]. Moscow, MISiS, 420 p. (in Russian)

- Chrysoullis S.L., McMullen J.** (2016) Mineralogical investigation of gold ores. *Gold ore processing (Second edition)* (ed. M.D. Adams). Amsterdam, Elsevier, 57–93.
- Geological map of the Russian Federation Scale of 1:1 000 000, sheet N-40(4) (2001). Edited by V.I. Kozlov, Ufa.
- Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Lein A.Yu.** (2019) [Mineralogy and geochemistry of ancient and modern black smokers]. Moscow, RAN, 832 p. (in Russian)
- Makarova V.N.** (2013) [Geotourism and «golden dust» of centuries]. *Arkheografia Yuzhnogo Urala: okruzhayushchaya sreda, prirodnye resursy i geologicheskie pamyatniki v istorii, culture i zhizneobespechenii narodov Evrazii. Materialy XIII Vserossiyskoy nauchnoprakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy godu okruzhayushcheey sredy [Archeography of the South Urals: environment, natural resources and geological sites of history, culture and livelihoods of people of Eurasia. Proceedings of the XIII All-Russian scientific and practical conference dedicated to the year of the environment]*. Ufa, IEI UNTS RAN, 54–62. (in Russian)
- Morrison G.W., Rose W.J., Jaireth S.** (1991) Geological and geochemical controls on the silver content (fineness) of gold in gold-silver deposits. *Ore Geology Reviews*, 6(4), 333–364.
- Mostovich V.Ya.** (1923) [Cyanidation of gold tellurides]. *Izvestiya Tomskogo Tekhnologicheskogo Instituta [Proceedings of Tomsk Technological Institute]*, 44, 56–87. (in Russian)
- Novoselov K., Belogub E.** (2005) Gold-polymetallic mineralisation of the Il'inskoe ore field (South Urals). *Geochemistry, Mineralogy and Petrology*, 43, 138–141.
- Paduchina Yu.A., Chukhareva N.S., Novoselov K.A., Palenova E.E., Belogub E.V., Blinov I.A., Artemyev D.A., Rassomakhin M.A.** (2019) [Mineralogy of precious metals of the Murtykty gold Deposit, southern Urals]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, 5(2), 57–69. (in Russian)
- Petrovskaya V.N.** (1973) [Native gold]. Moscow, Nauka, 348 p. (in Russian)
- Sazonov V.N., Ogorodnikov V.N., Koroteev V.A., Polenov Yu.A.** (1999) [Urals gold deposits]. Yekaterinburg, UGGGA, 570 p. (in Russian)
- Salikhov D.N., Kovalev S.G., Belikova G.I., Berdnikov P.G.** (2003) [Minerals of the Republic of Bashkortostan (gold)]. Part 1. Ufa, Ekologiya, 222 p. (in Russian)
- Seravkin I.B., Znamenskiy S.E., Rodicheva Z.I.** (2013) [Zonality of occurrence of gold deposits in the South Urals]. *Geological collection no. 10*. Ufa, 225–235. (in Russian)
- Vikentiev I.V.** (2004) [Formation conditions and metamorphism of pyrite ores]. Moscow, Nauchny mir, 338 p. (in Russian)
- Yannopoulos J.C.** (1991) The extractive metallurgy of gold. Van Nostrand Reinhold, New York, 282 p.
- Znamenskiy S.E.** (2010) [The geological formation conditions and genesis of gold-sulfide deposits of the Magnitogorsk Megazone]. *Magmatizm i metamorfizm v istorii zemli. XI Vserossiyskoe petrograficheskoe soveshchanie [Magmatism and metamorphism in evolution of the Earth. XI All-Russian petrographic meeting]*. Yekaterinburg, UGGU, 257–258. (in Russian)