



УДК 553.068.54

DOI: 10.35597/2313-545X-2024-10-3-4

ШЛИХОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АССОЦИАЦИИ ЗОЛОТА БАСЕЙНА РУЧЬЯ КУКУЛЬКИНДЖА (ОХОТСКИЙ РАЙОН ХАБАРОВСКОГО КРАЯ)

А.Я. Нефедова¹, И.К. Котова¹, М.А. Павлова^{1,2},
Д.И. Смирнов¹, Д.А. Гуськов¹, С.В. Петров¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. 7-9-11,
г. Санкт-Петербург, 199034 Россия; sascha_nefiodova@mail.ru

² Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН,
Институт минералогии, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия

Статья поступила в редакцию 04.05.2024 г., после доработки 14.05.2024 г., принята к печати 22.07.2024 г.

Аннотация. В статье освещен недостаточно изученный вопрос о коренном источнике шлихового золота из аллювия бассейна руч. Кукулькинджа (Охотский район Хабаровского края) путем анализа минералогических и геохимических особенностей проб. Приведены сведения о минеральном составе шлихов, морфологических характеристиках и химическом составе самородного золота. В шлихах преобладают комковидные выделения самородного золота. Пробность самородного золота варьирует от весьма низкой (530–689 ‰) до средней (885 ‰); из примесей присутствует только Ag; в золоте отмечаются тонкие высокопробные каймы. В шлиховых пробах постоянно фиксируются минералы групп граната и пироксена. Отмечается значительное содержание гранатаgrossуляр-андрадитового состава. Среди минералов группы пироксена определены минералы ряда диопсид-геденбергит, характерные для зон контактового метаморфизма и метасоматоза. На основе результатов статистической обработки геохимических и минералогических данных выделены три устойчивые минеральные ассоциации. Первая объединяет минералы тяжелой фракции, сношенные с площади всего района исследования (результат сноса обломочного материала со скарнов и субщелочных гранитов). Вторая ассоциация, преимущественно, объединяет акцессорные минералы субщелочных гранитов позднего мела, наиболее распространенных в пределах исследованного участка, а третья – минералы скарнов. Сделан прогноз, касающийся коренного источника золота, связанного именно со скарнами. Об этом свидетельствуют типоморфные особенности самородного золота, а также его участие в шлихогеохимической ассоциации с гранатамиgrossуляр-андрадитового состава и пироксенами ряда диопсид-геденбергит. Пробы с наибольшим количеством золота в шлихах пространственно сопряжены со скарновым источником сноса.

Ключевые слова: Охотский район, самородное золото, шлихогеохимическое опробование, устойчивые ассоциации, коренной источник, скарны.

Благодарности. Авторы выражают признательность аналитикам Н.С. Власенко (Ресурсный центр «Геомодель», Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), г. Санкт-Петербург) и А.В. Антонову (Центр изотопных исследований, ФГБУ Институт Карпинского, г. Санкт-Петербург) за помощь в проведении лабораторных исследований, а также С.В. Нагаевой (Лаборатория инструментальных методов анализа АО НПО «РИВС», г. Санкт-Петербург), В.А. Воскресенской (ФГБУ Институт Карпинского, г. Санкт-Петербург) и Н.С. Овчинниковой (Ресурсный центр микроскопии и микроанализа СПбГУ, г. Санкт-Петербург) за содействие в подготовке материалов для лабораторных исследований, а также рецензенту и редакторам за комментарии, позволившие улучшить статью.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с рукописью.

Вклад авторов. А.Я. Нефедова, С.В. Петров, И.К. Котова, М.А. Павлова – разработка концепции, исследование; А.Я. Нефедова, И.К. Котова – аналитические/экспериментальные работы; А.Я. Нефедова – программное обеспечение, визуализация; А.Я. Нефедова, М.А. Павлова – написание черновика рукописи; С.В. Петров, М.А. Павлова, Д.А. Гуськов, Д.И. Смирнов – редактирование финального варианта рукописи. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Для цитирования: Нефедова А.Я., Котова И.К., Павлова М.А., Смирнов Д.И., Гуськов Д.А., Петров С.В. Шлихогеохимические ассоциации золота бассейна ручья Кукулькинджа (Охотский район Хабаровского края). Минералогия, **10**(3), 52–71. DOI: 10.35597/2313-545X-2024-10-3-4.

HEAVY CONCENTRATE GOLD ASSOCIATIONS IN THE BASIN OF THE KUKULKINDZHA CREEK (OKHOTSK REGION OF THE KHABAROVSK KRAI)

A.Ya. Nefedova¹, I.K. Kotova¹, M.A. Pavlova^{1,2}, D.I. Smirnov¹, D.A. Guskov¹, S.V. Petrov¹

¹ St. Petersburg State University, Universitetskaya nab. 7-9-11, St. Petersburg, 199034 Russia; sascha_nefjedova@mail.ru

² South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy, Miass, Chelyabinsk district, 456317 Russia; milana.a.pavlova@yandex.ru

Received 04.05.2024, revised 14.05.2024, accepted 22.07.2024

Abstract. This article highlights an insufficiently studied issue of a primary source of placer gold in alluvium of the basin of the Kukulkindzha Creek (Okhotsk region, Khabarovsk krai) by means of the analysis of mineralogical and geochemical features of samples. This study provides information on mineral composition of heavy concentrates and morphological characteristics and chemical composition of native gold. Native gold with lumpy morphology is dominant in heavy concentrates. The fineness of native gold varies from very low (530–689 ‰) to medium (885 ‰); native gold contains only Ag and is characterized by high-fineness rims. The minerals of the garnet group with dominant grossular-andradite composition and the minerals of the pyroxene group (diopside–hedenbergite series characteristic of contact metamorphosed rocks) are always found in heavy concentrates. Three stable mineral assemblages of native gold are identified on the basis of statistical analysis of geochemical and mineralogical data. The first assemblage is related to the presence of heavy fraction minerals in heavy concentrates, which were sourced from the entire studied area. The second assemblage mainly consists of accessory minerals of Late Cretaceous subalkali granites, which are most widespread within the studied area, and the third assemblage contains skarn minerals. A primary source is most likely related to skarns, which is evident from specific features of native gold, as well as its presence in assemblage with Ca garnets of the grossular–andradite series and pyroxenes of the diopside–hedenbergite series. The samples with the highest amount of native gold in heavy concentrates are associated with skarn source.

Keywords: Okhotsk region, native gold, heavy concentrate sampling, stable assemblages, primary source, skarns.

Acknowledgements. The authors are grateful to analysts N.S. Vlasenko (Resource Center Geomodel, St. Petersburg State University (SPSU), St. Petersburg) and A.V. Antonov (Karpinsky Russian Geological Research Institute, St. Petersburg) for help in laboratory studies, as well as S.V. Nagaeva (Laboratory of Instrumental Analytical Methods, PC NPO RIVS, St. Petersburg), V.A. Voskresenskaya (Karpinsky Russian Geological Research Institute, St. Petersburg), and N.S. Ovchinnikova (Resource Center of Microscopy and Microanalysis, SPSU, St. Petersburg) for help in preparation of materials for laboratory studies and reviewer and editors for their comments allowing the improvement of the manuscript.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Author contribution. A.Y. Nefedova, S.V. Petrov, I.K. Kotova, M.A. Pavlova – concept development, research; A.Y. Nefedova, I.K. Kotova – analytical/experimental work; A.Y. Nefedova – software, visualization; A.Y. Nefedova, M.A. Pavlova – drafting the manuscript; S.V. Petrov, M.A. Pavlova, D.A. Guskov, D.I. Smirnov – editing the final version of the manuscript. All authors approved the final version of the article before publication.

For citation: Nefedova A.Ya., Kotova I.K., Pavlova M.A., Smirnov D.I., Guskov D.A., Petrov S.V. Associations of minerals concentrates of gold in the Kukulkinja creek basin (Okhotsk region of Khabarovsk territory). *Mineralogy*, **10**(3), 52–71. DOI: 10.35597/2313-545X-2024-10-3-4

ВВЕДЕНИЕ

Площадь исследования располагается в Охотском районе Хабаровского края и включает в себя бассейн руч. Кукулькинджа, являющегося притоком северной группы р. Ульбея (Воробьев и др., 1992ф). Водотоки берут здесь начало с южных склонов хребта Сунтар-Хаята и впадают в Охотское море (Казакова и др., 2013). Результаты работ по шлиховому опробованию руч. Кукулькинджа на

всем его протяжении с последующим выделением точек со знаковым содержанием золота упоминаются в старых отчетах. В 2020 г. на основе уже имеющихся геологических данных были проведены заверочные работы. Целью данного исследования является выявление устойчивых ассоциаций золота путем анализа минералогических и геохимических особенностей шлиховых проб, а также определение его потенциальных коренных источников.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследованы 164 малообъемные шлиховые пробы, отобранные из аллювиальных отложений бассейна руч. Кукулькинджа и его притоков. Минеральный состав 60 шлихов определен под бинокляром. Все пробы разделены в зависимости от магнитной восприимчивости минералов на ферромагнитную (магнетитовую), электромагнитную и немагнитную фракции. Количественный минералогический анализ производился под бинокляром МБС-10 (Санкт-Петербургский государственный университет, СПбГУ, г. Санкт-Петербург) и Leica MZ6 (ФГБУ Институт Карпинского, г. Санкт-Петербург) с определением содержания каждого минерала в процентном соотношении из 1500 зерен каждой шлиховой пробы.

Определение химического состава минералов, а также их изучение в отраженных электронах производились на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с энергодисперсионной приставкой (Ресурсный центр «Геомодель», СПбГУ, аналитик Н.С. Власенко) и электронном микроскопе Camscan MX2500 с энергодисперсионным спектрометром Link Pentafet (SiLi 10 mm²) и программным пакетом INCA Energy (ФГБУ Институт Карпинского, аналитик А.В. Антонов). Пробоподготовка происходила при участии С.В. Нагаевой (Лаборатория инструментальных методов анализа АО НПО «РИВС», г. Санкт-Петербург), В.А. Воскресенской (ФГБУ Институт Карпинского), а также Н.С. Овчинниковой (Ресурсный центр микроскопии и микроанализа СПбГУ).

Шлихогеохимический метод основан на определении элементного состава отмытых шлиховых проб, включая их минералогическое изучение (Костерин, 1972). В данной работе элементный состав всех шлиховых проб был определен с помощью портативного рентгенофлуоресцентного спектрометра Olympus Innov X Delta (ООО «Меффа Лаб Ру», г. Санкт-Петербург). Данные статистически обработаны методом главных компонент факторного анализа (Statistica 10). Графический и картографический материал создан в программах QGIS и CorelDraw 2017.

В статье приняты следующие сокращения названий минералов: All – алланит, Alm – альмандин, Andr – андрадит, Amph – амфиболы, Au – самородное золото, Flsp – полевые шпаты, Gr – кальциевые гранаты точно не определенные, Grs – грассуляр, En – энстатит, Epd – эпидот, Fs – ферросилит,

Hem – гематит, Ilm – ильменит, Mnz – монацит, Prp – пироп, Pyr – пирит, Px – пироксены, Sps – спессартин, Zrn – циркон, Wol – волластонит.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Площадь исследования располагается в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, в западной части Охотского срединного массива, в строении которого участвуют многочисленные интрузивы гранитоидов раннего и позднего мела. Геологическое строение участка определяется его положением в ядерной части Охото-Ульбейского сводового поднятия. Район занимает его наиболее приподнятую часть – Кухтуйский выступ (Кузьмин и др, 2009).

Ручей Кукулькинджа и его притоки поставляют обломочный материал с площади развития следующих комплексов (рис. 1): позднемеловых субщелочных гранитов, слагающих крупный массив на севере участка; верхнедевонских вулканогенных и терригенных пород с прослоями известняков в северо-восточной части участка; позднемеловых гранодиорит-порфиров и среднекарбонных-нижнепермских терригенных пород в центральной и западной частях участка. Преобладающим распространением пользуются интрузивные образования. В зонах контакта интрузий с девонскими известняками находятся скарны и скарнированные породы (Братухин, Юдина, 1958ф; Зуев, 1985ф). Исходя из геологической ситуации, коренное золото здесь может быть связано со скарнами либо с кварцевожильными проявлениями в субщелочных гранитах позднего мела.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Минеральный состав шлиховых проб. Преобладающими минералами в шлиховых пробах являются магнетит, ильменит и гематит, на долю которых приходится свыше 2/3 шлиха: магнетит – 53.3 %, ильменит – 9.5 %, гематит – 9.1 % (рис. 2). В порядке убывания шлиховые пробы также содержат минералы группы граната, циркон, алланит, пироксены и амфиболы, монацит, эпидот, пирит, периодически присутствуют титанит, рутил, пиролюзит, редко – шеелит. Из минералов легкой фракции встречены кварц и плагиоклаз. В некоторых

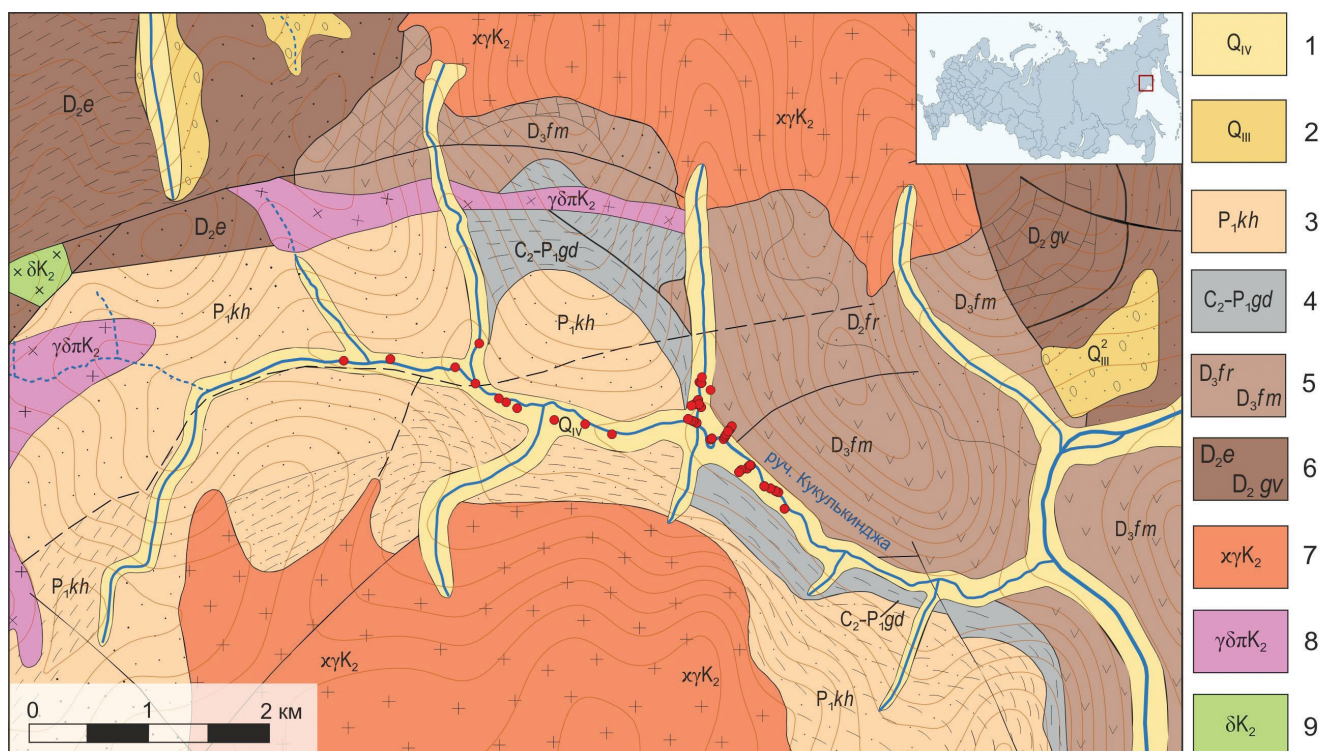


Рис. 1. Геологическая схема бассейна ручья Кукулькинджа, составила А.Я. Нефедова по материалам А.И. Воробьева (1992ф) и А.И. Замбрыцкого (1992ф).

1 – четвертичные аллювиальные отложения: валунники, галечники, пески и суглинки; 2 – верхнечетвертичные ледниковые и водно-ледниковые отложения эпохи последнего оледенения: валунники, галечники, пески с гравием и глины; 3 – нижняя пермь, кухтуйская свита: гравелиты, песчаники, алевролиты, песчано-глинистые и углисто-глинистые сланцы; 4 – средний и верхний карбон – нижняя пермь, гадекчанская свита: конгломераты, песчаники, алевролиты и прослои углисто-глинистых сланцев; верхний девон, фаменский ярус: 5 – риолиты, андезиты, их туфы, туфоконгломераты, туфогравелиты, туфопесчаники, туфоалевролиты, глинистые сланцы с прослоями известняков; 6 – верхний девон, франский ярус, конгломераты, песчаники, алевролиты, глинистые сланцы с прослоями известняков; позднемеловые интрузии; 7, 8 – поздний мел: 7 – субщелочные граниты; 8 – гранодиорит-порфиры; 9 – вулканогенный, вулканогенно-осадочный комплекс: диориты, кварцевые диориты. Красными кружками обозначены точки отбора шлиховых проб

Fig. 1. Geological scheme of the basin of the Kukulkindzha Creek, composed by A.Ya. Nefedova using materials of A.I. Vorob'ev (1992) and A.I. Zambrzhitsky (1992).

1 – Quaternary alluvial deposits: boulder, pebble, sand, loam; 2 – Upper Quaternary glacial and water-glacial deposits of the last glaciation epoch: boulder, pebble, and sand with gravel and clay; 3 – Lower Permian, Kukhtui Formation: gravelite, sandstone, siltstone, sandy-clay and carbonaceous-clay shale; 4 – Middle-Upper Carboniferous – Lower Permian, Gadekchan Formation: conglomerate, sandstone, siltstone, interlayers of carbonaceous-clay shale; 5 – Upper Devonian, Famennian: rhyolite, andesite, their tuff, tuff conglomerate, tuff gravelite, tuff sandstone, tuff siltstone, and clay shale with limestone interlayers; 6 – Upper Devonian, Frasnian: conglomerate, sandstone, siltstone, and clay shale with limestone interlayers; 7, 8 – Late Cretaceous intrusions: 7 – subalkali granite; 8 – granodiorite porphyry; 9 – volcanic and volcanosedimentary complex: diorite, quartz diorite. Sampling points for heavy concentrates are marked by red circles.

шлихах установлены зерна киновари, в единичных случаях – халькопирит, галенит и малахит.

Минералы группы пироксена. Минералы группы пироксена постоянно фиксируются в шлиховых пробах. Состав пироксенов показан на рис. 3. Большинство пироксенов попадает в поле авгита и диопсида-геденбергита. Химический состав моноклинных пироксенов из шлиховых проб представлен в табл. 1.

Минералы группы граната. Гранат в шлиховых пробах представлен лиловыми (рис. 4г, ж, з), красными различных оттенков (рис. 4б, в, д, е, и, к, м), оливковыми (рис. 4л) и почти черными (рис. 4а) окатанными зернами или угловатыми обломками, реже – хорошо сохранившимися кристаллами с четкой огранкой. Химический состав гранатов из шлиховых проб представлен в табл. 2. Большинство гранатов в пробах представлено альмандином (рис. 5а). Количество каль-

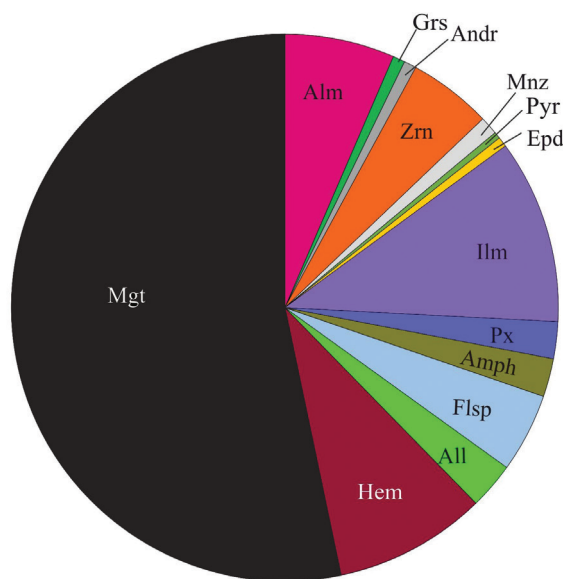


Рис. 2. Усредненный минеральный состав шлиховых проб бассейна ручья Кукулькинджа.

Fig. 2. Average mineral composition of heavy concentrates of the basin of the Kukulkindzha Creek.

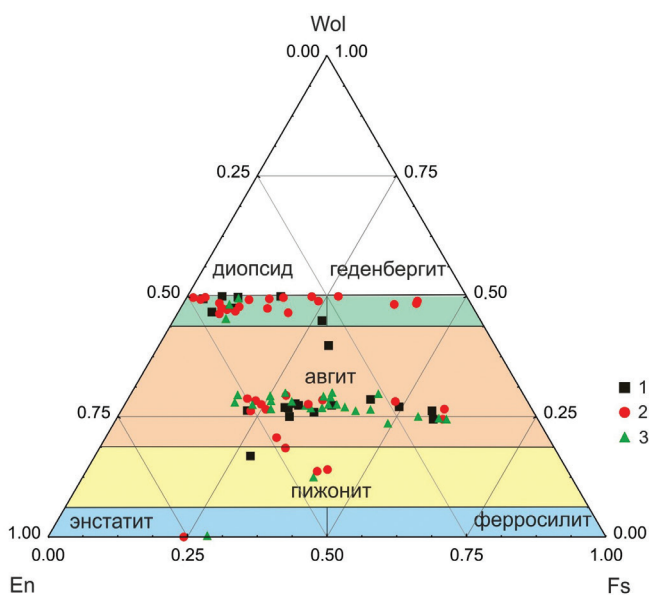


Рис. 3. Классификационная диаграмма Ca-Fe-Mg пироксенов (на основе номенклатуры в системе $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}^{2+})\text{Si}_2\text{O}_6$ (Винчелл, 1953) с добавлениями И.В. Гинзбурга).

Здесь и на рис. 5: 1–3 – составы минералов из восточной (1), центральной (2) и западной (3) зон участка.

Fig. 3. Classification diagram of Ca-Fe-Mg pyroxenes (based on the nomenclature $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}^{2+})\text{Si}_2\text{O}_6$ system (Winchell, 1953) with additions of I.V. Ginzburg).

Here and in Fig. 5: 1–3 – composition of minerals from the eastern (1), central (2), and western (3) zones of the studied area.

Таблица 1
Table 1
Химический состав моноклиновых пироксенов из шлиховых проб, отобранных из аллювия руч. Кукулькинджа и его притоков
Chemical composition of monoclinic pyroxenes from heavy concentrates taken from alluvium of the Kukulkindzha Creek and its tributaries

Минерал	Содержание элементов, мас. %										Кристаллохимическая формула
	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MnO	FeO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма		
Авгит	9.74	1.71	50.50	21.45	0.34	15.94	0.33	–	100		$(\text{Ca}_{0.88}\text{Fe}^{2+}_{0.08}\text{Na}_{0.03}\text{Mn}_{0.01})_{1.00}(\text{Mg}_{0.56}\text{Fe}^{2+}_{0.36}\text{Fe}^{3+}_{0.07}\text{Al}_{0.01})_{1.00}(\text{Si}_{1.94}\text{Al}_{0.06})_{2.00}\text{O}_6$
	9.03	2.41	48.8	10.90	0.41	28.56	–	–	100		$(\text{Fe}^{2+}_{0.52}\text{Ca}_{0.46}\text{Mn}_{0.01})_{1.00}(\text{Mg}_{0.53}\text{Fe}^{2+}_{0.40}\text{Fe}^{3+}_{0.03}\text{Al}_{0.04})_{1.00}(\text{Si}_{1.93}\text{Al}_{0.07})_{2.00}\text{O}_6$
	10.99	9.43	47.33	11.50	0.50	18.62	1.36	0.27	100		$(\text{Ca}_{0.46}\text{Fe}^{2+}_{0.41}\text{Na}_{0.10}\text{Mn}_{0.02})_{1.0}(\text{Mg}_{0.62}\text{Al}_{0.20}\text{Fe}^{3+}_{0.12}\text{Fe}^{2+}_{0.06}\text{Al}_{0.21})_{1.0}(\text{Si}_{1.79}\text{Al}_{0.21})_{2.0}\text{O}_6$
Диопсид	9.68	–	52.21	24.24	0.42	13.46	–	–	100		$\text{Ca}_{1.00}(\text{Mg}_{0.55}\text{Fe}^{2+}_{0.43}\text{Mn}_{0.01})_{1.00}\text{Si}_{2.00}\text{O}_6$
	11.65	0.58	52.43	24.43	0.72	10.19	–	–	100		$(\text{Ca}_{0.99}\text{Mn}_{0.01})_{1.00}(\text{Mg}_{0.66}\text{Fe}^{2+}_{0.31}\text{Fe}^{3+}_{0.01}\text{Al}_{0.01}\text{Mn}_{0.01})_{1.00}(\text{Si}_{1.98}\text{Al}_{0.02})_{2.00}\text{O}_6$
	14.03	1.04	52.29	24.56	2.22	5.86	–	–	100		$(\text{Ca}_{0.98}\text{Mn}_{0.02})_{1.00}(\text{Mg}_{0.78}\text{Fe}^{2+}_{0.12}\text{Fe}^{3+}_{0.06}\text{Mn}_{0.05})_{1.00}(\text{Si}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{Fe}^{3+}_{0.01})_{2.00}\text{O}_6$
Геденбергит	4.64	–	49.40	22.54	0.51	22.91	–	–	100		$(\text{Ca}_{0.97}\text{Fe}^{2+}_{0.02}\text{Mn}_{0.02})_{1.00}(\text{Fe}^{2+}_{0.70}\text{Mg}_{0.28}\text{Fe}^{3+}_{0.03})_{1.00}(\text{Si}_{1.97}\text{Fe}^{3+}_{0.03})_{2.00}\text{O}_6$
	7.92	–	51.55	23.94	0.46	16.13	–	–	100		$\text{Ca}_{1.00}(\text{Fe}^{2+}_{0.52}\text{Mg}_{0.46}\text{Mn}_{0.02})_{1.00}\text{Si}_{2.00}\text{O}_6$
	3.09	0.64	48.20	22.69	4.19	21.17	–	–	100		$(\text{Ca}_{0.98}\text{Mn}_{0.02})_{1.00}(\text{Fe}^{2+}_{0.64}\text{Mg}_{0.19}\text{Mn}_{0.12}\text{Fe}^{3+}_{0.06}\text{Al}_{0.03}\text{Fe}^{3+}_{0.03})_{2.00}\text{O}_6$

Примечание. Здесь и в табл. 2, формулы минералов рассчитаны в программе MineralCalc v.1.1 (автор Е.В. Кориневский, <https://petroexplorer.ru/ru/mnu-re-ru/st-mnu/mincalc-mnu-ru/57-mincalc-review-ru.html>).

Note. Here and in Table 2, the formulas of minerals are calculated in 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>).

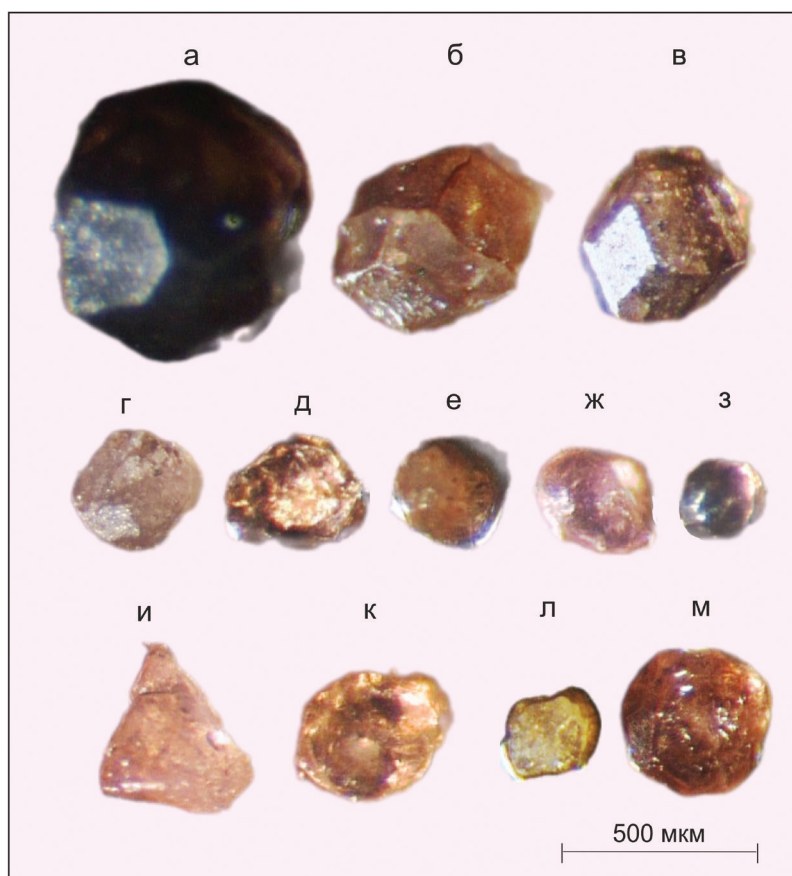


Рис. 4. Морфология изученных гранатов: а–в – гранаты с кристаллографическими очертаниями; г–м – слабо откатанные зерна гранатов.

Здесь и на рис. 7: бинокляр Leica MZ6 (ФГБУ Институт Карпинского), фото А.Я. Нефедовой.

Fig. 4. Morphology of the studied garnets: а–в – garnets with crystallographic boundaries; г–м – weakly rounded garnet.

Here and in Fig. 7: a Leica MZ6 binocular (Karpinsky Institute), photo by A.Ya. Nefedova.

циевых гранатов гроссуляр-андрадитового состава в пробах также значительно, особенно в шлихах из центрального притока, дренирующего контакты гранитов с карбонатными породами. В альмандинах количество спессартинового компонента превышает содержание пиропового (рис. 5б). Повышенное количество зерен альмандин-спессартиновых гранатов характерны для проб восточной группы водотоков. Альмандиновые гранаты распространены широко и равномерно по ручью, гроссуляр-андрадитовые – локально, в аллювии притоков, которые пересекают контакты интрузий с известковистыми породами (рис. 6).

Морфология и химический состав самородного золота. Большинство шлихов, отобранных из аллювиальных отложений руч. Кукулькинджа, содержат знаки самородного золота (рис. 7). Характерный цвет самородного золота в пробах – теплые оттенки желтого. Некоторые золотины покрыты бурой железистой пленкой. Золото преимуще-

ственно слабо (реже, хорошо) окатанное. На ямчатой поверхности относительно крупных золотинок просматриваются следы вдавливания зерен других минералов. Отмечаются зерна с извилистыми очертаниями, сложноузорчатые, дендритовидные, амебообразные приплюснутые. Поверхность золотинок ямчатая. Встречаются более хорошо окатанные уплощенно-комковидные зерна с тупыми углами, однако даже у подобных зерен локально сохраняются ажурные очертания. Отмечаются золотины удлиненно-комковидной формы, слегка изогнутые, с ямчатой поверхностью или более гладкие слабо окатанные зерна с равномерно расположенными округлыми выступами на поверхности.

Состав самородного золота неоднороден. Единственной примесью является серебро – от 11.6 до 62.9 мас. %. Пробность золота варьирует от весьма низкой до средней. Два локальных максимума на гистограмме распределения пробности

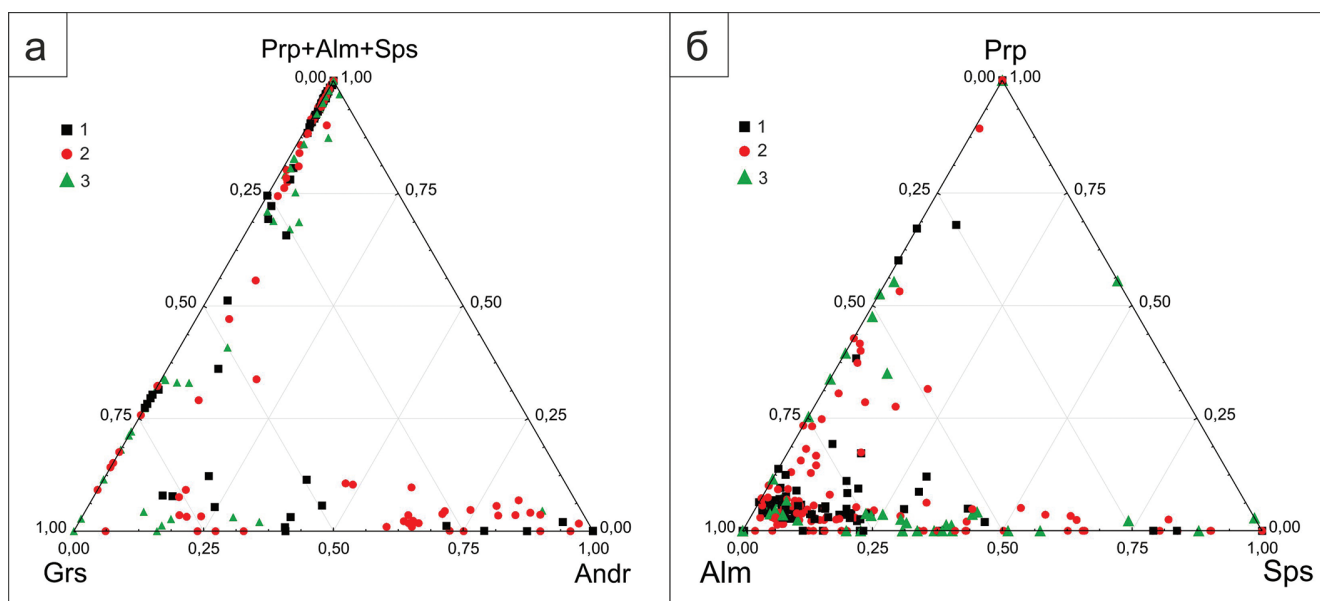


Рис. 5. Состав гранатов из шлиховых проб, отобранных из водотоков бассейна руч. Кукулькинджа на диаграммах-пироп (Py) + альмандин (Alm) + спессартин (Sps)-гроссуля (Grs)-андрадит (Andr) (а) и пироп-альмандин-спессартин (б).

Fig. 5. Composition of garnets from heavy concentrates sampled from streams of the basin of the Kukulkindzha Creek in diagrams pyrope (Py) + almandine (Alm) + spessartite (Sps)-grossular (Grs)-andradite (Andr) (a) and pyrope-almandine-spessartite (b).

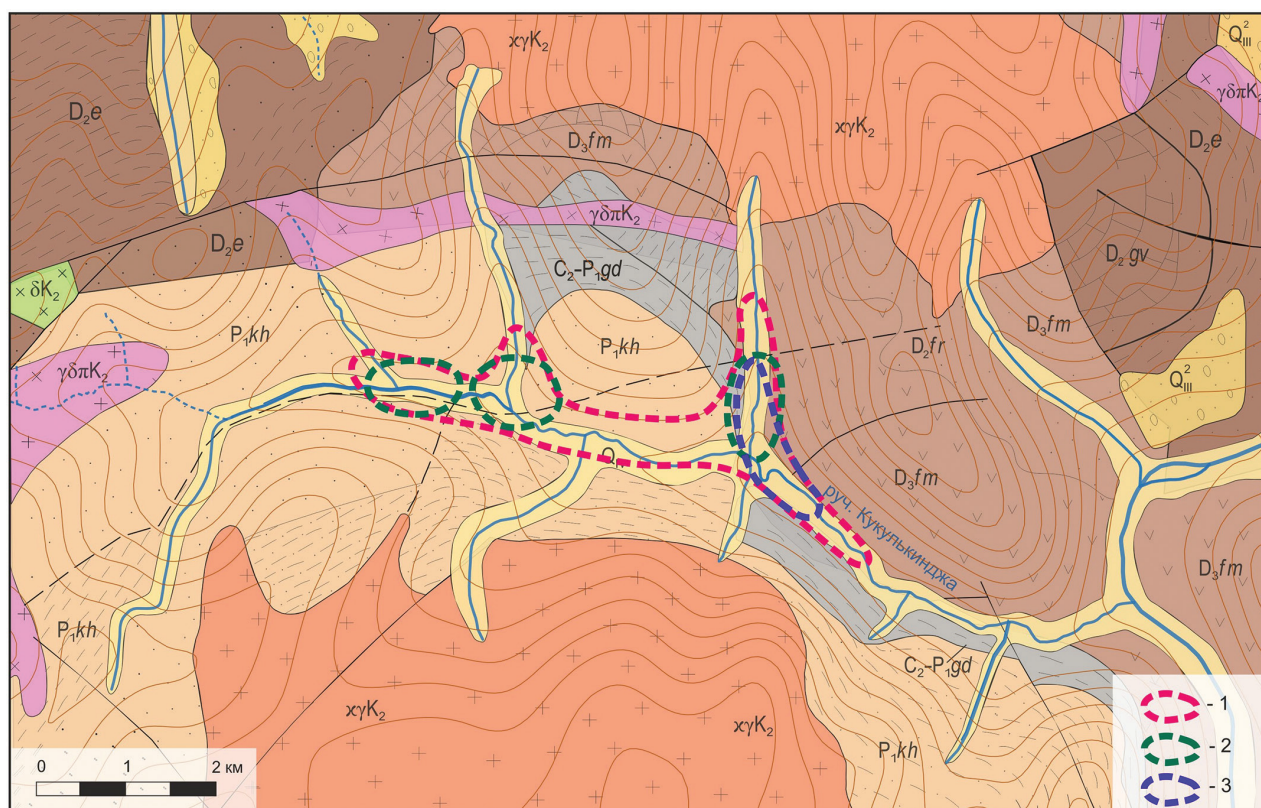


Рис. 6. Области распространения гранатов: 1 – альмандин, спессартин, пироп; 2 – гроссуля; 3 – андрадит.

Fig. 6. Areas of occurrence of garnets: 1 – almandine, spessartite, pyrope; 2 – grossular; 3 – andradite.

Таблица 2
Table 2
Химический состав гранатов из шлиховых проб, отобранных из аллювия руч. Кукулькинджа
Chemical composition of garnets from heavy concentrates taken from alluvium of the Kukulkinja Creek

Минерал	Содержание элементов, мас. %							Кристаллохимическая формула
	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MnO	FeO	TiO ₂	
Альмандин	–	20.04	35.43	0.76	6.31	37.46	–	(Fe ²⁺ _{2.43} Mn _{0.44} Ca _{0.07}) _{3.00} (Al _{1.89} Fe ³⁺ _{0.17}) _{2.00} (Si _{2.94} Al _{0.06}) _{3.00} O ₁₂
	3.54	20.62	36.81	0.42	2.95	35.66	–	(Fe ²⁺ _{2.31} Mn _{0.20} Ca _{0.04} Mg _{0.43}) _{3.00} (Al _{1.93} Fe ³⁺ _{0.10}) _{2.00} (Si _{2.97} Al _{0.03}) _{3.00} O ₁₂
	0.42	20.19	35.15	0.46	19.5	23.91	0.36	(Fe ²⁺ _{1.47} Mn _{1.37} Ca _{0.04} Mg _{0.05}) _{3.00} (Al _{1.87} Fe ³⁺ _{0.18} Ti _{0.02}) _{2.00} (Si _{2.90} Al _{0.10}) _{3.00} O ₁₂
Альмандин-спессартин	0.58	20.32	35.74	1.64	8.57	33.14	–	(Fe ²⁺ _{2.13} Mn _{0.60} Ca _{0.14} Mg _{0.07}) _{3.00} (Al _{1.91} Fe ³⁺ _{0.15}) _{2.00} (Si _{2.94} Al _{0.06}) _{3.00} O ₁₂
Спессартин-альмандин	0.83	20.38	35.70	1.23	22.93	18.93	–	(Fe ²⁺ _{1.13} Mn _{1.59} Ca _{0.11} Mg _{0.10}) _{3.00} (Al _{1.90} Fe ³⁺ _{0.17}) _{2.00} (Si _{2.93} Al _{0.07}) _{3.00} O ₁₂
Спессартин	–	19.24	36.15	15.07	21.57	7.64	0.33	(Mn _{1.46} Ca _{1.29} Fe ²⁺ _{0.16}) _{3.00} (Al _{1.71} Fe ³⁺ _{0.35} Ti _{0.02}) _{2.00} (Si _{2.90} Al _{0.11}) _{3.00} O ₁₂
Гроссуляр	–	11.37	37.17	33.34	2.02	15.15	0.95	(Ca _{2.82} Mn _{0.14} Fe ²⁺ _{0.04}) _{3.00} (Al _{0.99} Fe ³⁺ _{0.96} Ti _{0.06}) _{2.00} (Si _{2.93} Al _{0.07}) _{3.00} O ₁₂
	–	19.00	38.10	33.18	1.47	7.79	0.47	(Ca _{2.73} Fe ²⁺ _{0.13} Mn _{0.10}) _{3.00} (Al _{1.63} Fe ³⁺ _{0.37} Ti _{0.03}) _{2.00} (Si _{2.93} Al _{0.07}) _{3.00} O ₁₂
	–	24.27	38.87	23.94	–	12.91	–	(Ca _{1.98} Fe ²⁺ _{0.83}) _{3.00} Al _{2.19} (Si _{2.99} Al _{0.01}) _{3.00} O ₁₂
Андрадит	–	2.71	36.29	34.21	0.54	26.25	–	Ca _{2.98} (Fe ³⁺ _{1.78} Al _{0.21} Mn _{0.04}) _{2.00} (Si _{2.95} Al _{0.05}) _{3.00} O ₁₂
	–	7.48	37.17	34.46	0.94	19.40	0.55	(Ca _{2.94} Mn _{0.05}) _{3.00} (Fe ³⁺ _{1.29} Al _{0.67} Mn _{0.01} Ti _{0.03}) _{2.00} (Si _{2.96} Al _{0.04}) _{3.00} O ₁₂
	–	3.55	36.75	32.38	1.95	25.36	–	(Ca _{2.82} Mn _{1.13} Fe ²⁺ _{0.03}) _{3.00} (Fe ³⁺ _{1.69} Al _{0.33}) _{2.00} (Si _{2.99} Al _{0.02}) _{3.00} O ₁₂

соответствуют преимущественному составу в центральных частях зерен с первичным золотом (530–689 %) и в каймах (848–885 %) (рис. 8). Для центральных участков изученной площади характерно бимодальное распределение пробности золота. Наблюдается главный пик со значениями 583–636 % и слабый – 742–795 %.

В одном случае установлен агрегат зерен с многочисленными тонкими высокопробными прожилками, развитыми по границам кристаллитов электрума (содержание Au 52.6 мас. %) (рис. 9а). Высокопробные оболочки остальных золотин маломощны, а прожилки практически отсутствуют. Из минералов золота также встречается кюстелит (рис. 9д): пробность центральной части составляет 371 %, а по границам развиваются тонкие более высокопробные каймы (до 801 %). Из включений в золоте присутствуют кварц, полевые шпаты, гидроксиды железа, пирит, арсенопирит и алланит (рис. 9е, ж, з, и).

Результаты статистической обработки. Нами рассмотрены две выборки: выборка № 1, основанная на химическом составе шлиховых проб, и выборка № 2, которая объединяет геохимическую выборку с данными по минеральному составу описанных шлихов.

В выборку № 1 вошло 15 переменных: 14 химических элементов, содержания которых превышают аналитический порог определения (Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Zn, Zr, Sn, Pb, Bi), а также количество знаков золота в каждой пробе, основанное на визуальном подсчете золотин. Из рабочей выборки исключены ураганные значения. Объем итоговой выборки № 1 – 161 проба.

В выборку № 2 в качестве переменных, помимо геохимических данных, добавлено количество зерен тяжелых минералов и знаков золота, установленных в каждом шлихе. Из выборки убраны неинформативные переменные – магнетит, ильменит и гематит, доля которых во всех шлиховых пробах очень значительна (свыше половины) при небольшой дисперсии, а также пирит (единичные зерна в отдельных пробах). Окончательный вариант выборки № 2 включает в себя 18 переменных: количество знаков золота, минералов группы граната, циркона, амфибола, пироксена, алланита, монацита и эпидота, и содержание Fe, Mg, Mn, Al, Ca, Si, P, Zr и Sn. Объем выборки – 59 проб. Результаты факторизации представлены в табл. 3 и 4. Структуры перечисленных факторов показаны на рис. 10 а, б.

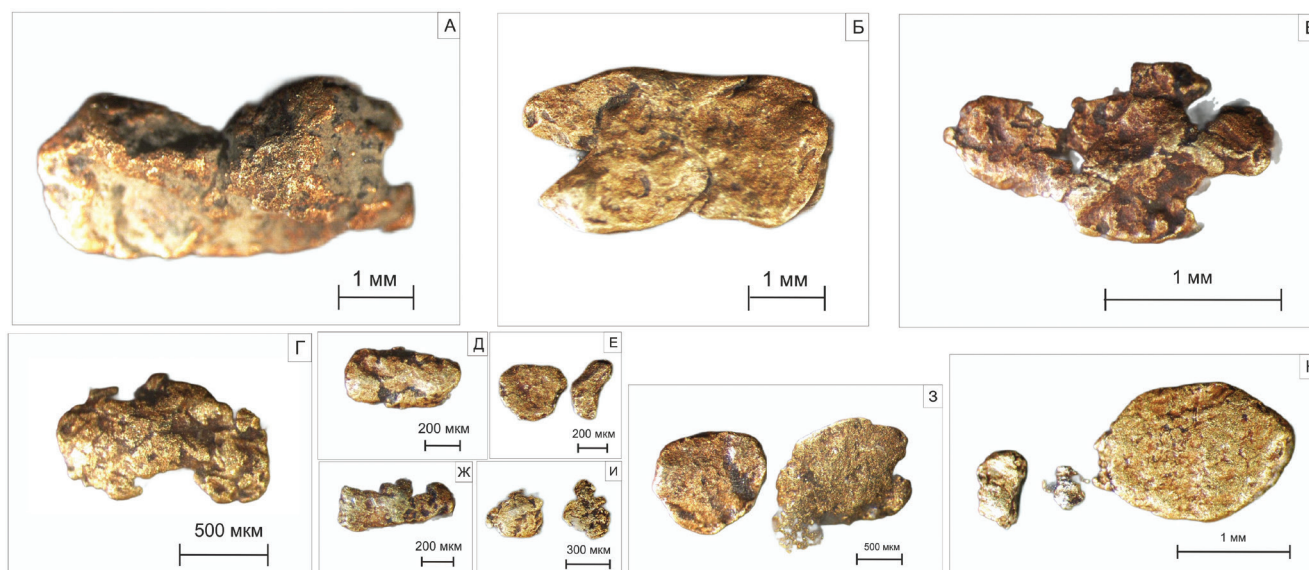


Рис. 7. Морфология зерен самородного золота из шлиховых проб, отобранных из водотоков бассейна руч. Кукулькинджа: а, г, д, ж – удлиненно-комковидная слегка изогнутая с ямчатой поверхностью; б – амёбообразная приплюснутая; в – дендритовидная; е, з, к – уплощенно-комковидная с тупыми углами; и – рельефная.

Fig. 7. Morphology of native gold grains from heavy concentrates sampled in streams of the basin of the Kukulkindzha Creek: а, г, д, ж – elongated lumpy, slightly curved with pitted surface; б – amoeboid flattened; в – dendritic; е, з, к – flattened lumpy with obtuse angles; и – complex relief.

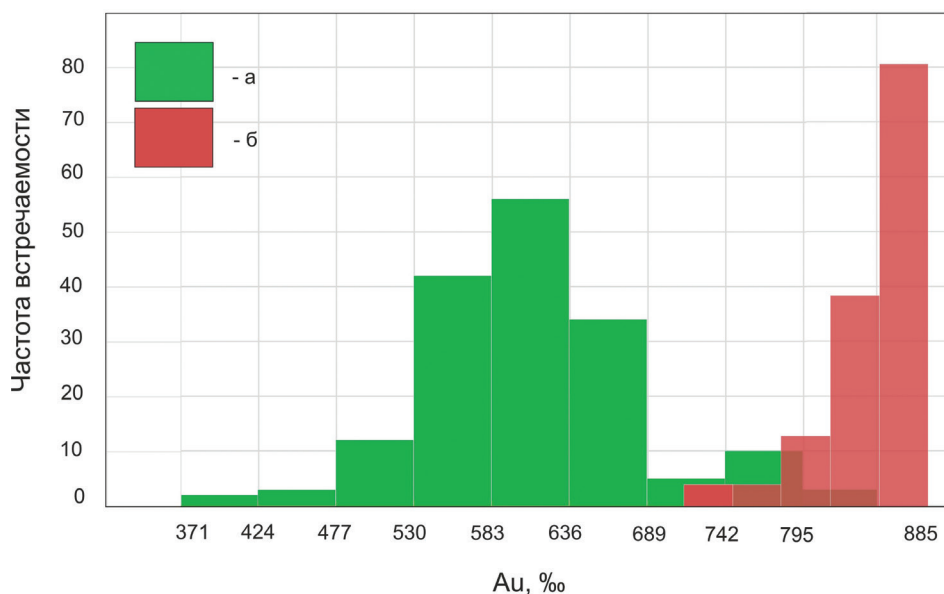


Рис. 8. Гистограмма содержания Au в зернах, отобранных на водотоках бассейна руч. Кукулькинджа: а – центральная часть зерен; б – кайма.

Fig. 8. Histogram of Au content of native gold grains sampled in streams of the basin of the Kukulkindzha Creek: а – central part of grains; б – rim.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Минералого-геохимические особенности

Присутствие в шлиховых пробах киновари и малахита свидетельствует о близком сносе, по-

скольку киноварь обладает незначительным коэффициентом гипергенной устойчивости из-за небольшой твердости и наличия спайности (Шило, 2002); а малахит также легко истирается и разрушается при переносе (Копченова, 1951).

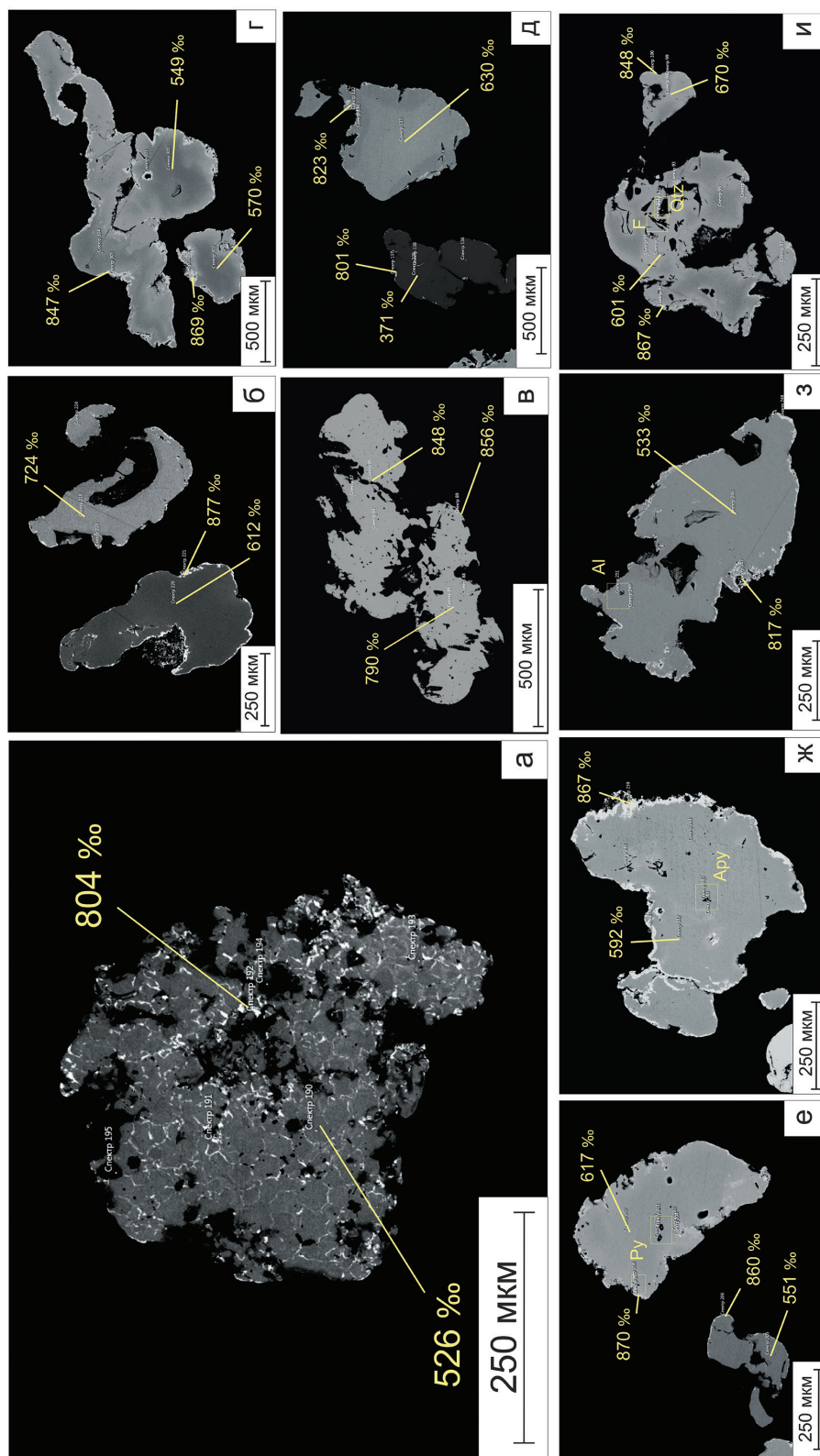


Рис. 9. Фото самородного золота, изображение в обратно-рассеянных электронах (BSE), СЭМ Hitachi S-3400N: а – зерно с многочисленными прожилками; б, в, г, ж, з, и – зерна с отчетливыми маломощными гипергенными каймами; д – зерно кюстелита.

Fig. 9. BSE images of native gold, Hitachi S-3400N SEM: а – grain with numerous veinlets; б, в, г, ж, з, и – grains with clear thin supergene rims; д – grain of küstelite.

Факторные нагрузки выборки № 1
Factor loads of sampling № 1

Таблица 3

Table 3

	Фактор I	Фактор II	Фактор III	Фактор IV	Фактор V
Знаки Au	–0.29	–0.24	–0.01	–0.59	–0.23
Mg	–0.77	–0.25	–0.01	–0.14	–0.03
Al	–0.57	–0.68	–0.22	0.12	–0.06
Si	–0.17	–0.88	–0.09	0.30	0.02
P	–0.71	0.39	0.03	0.43	0.09
Ca	–0.24	–0.68	0.25	0.26	–0.11
Ti	0.04	0.21	0.78	–0.07	0.33
Cr	–0.29	–0.16	0.53	0.09	0.07
Mn	–0.63	–0.32	0.40	–0.26	0.24
Fe	–0.95	0.07	–0.12	–0.17	0.02
Zn	–0.05	0.19	0.20	0.42	–0.74
Zr	–0.63	0.36	0.26	0.51	0.05
Sn	–0.12	0.08	0.53	–0.44	–0.48
Pb	–0.78	0.41	–0.34	–0.18	–0.03
Bi	–0.90	0.34	–0.18	–0.06	–0.00
Общ. дис.	4.82	2.61	1.72	1.50	1.02
Доля общ.	0.32	0.17	0.11	0.10	0.07

Примечание. Критическое значение факторной нагрузки – 0.16 при уровне значимости $\alpha = 0.05$ (надежность 95%). Здесь и в табл. 4 – желтым цветом выделены наиболее значимые положительные значения факторных нагрузок, голубым – отрицательные.

Note. The critical value of the factor load at a significance level of $\alpha = 0.05$ (the reliability of 95%) is 0.16. Here and in Table 4, the most significant positive and negative factor loadings are highlighted in yellow and blue, respectively.

Факторные нагрузки выборки № 2
Factor loads of sampling № 2

Таблица 4

Table 4

	Фактор I	Фактор II	Фактор III	Фактор IV	Фактор V
Au	–0.36	–0.09	–0.65	0.03	0.33
Alm	–0.02	0.29	0.40	–0.66	0.15
Zrn	–0.31	–0.37	0.48	0.13	0.05
Mnz	–0.17	0.17	0.34	0.56	–0.12
Epd	–0.17	0.10	0.51	0.14	0.13
Amph	–0.14	–0.09	0.50	0.01	0.70
All	–0.18	0.24	–0.02	–0.57	–0.55
Px	0.20	0.38	0.21	0.38	–0.40
Gr	–0.39	–0.10	–0.62	0.48	0.06
Mg	–0.82	–0.08	–0.05	–0.04	0.12
Al	–0.70	0.57	–0.01	0.13	0.12
Si	–0.39	0.83	–0.08	0.14	0.02
P	–0.72	–0.42	0.26	0.04	–0.28
Ca	–0.36	0.74	–0.05	–0.02	–0.02
Mn	–0.77	0.05	–0.20	–0.36	0.09
Fe	–0.90	–0.24	0.07	–0.14	–0.02
Zr	–0.68	–0.40	0.19	0.12	–0.39
Sn	0.07	–0.28	–0.43	–0.16	–0.07
Общ. дис.	4.37	2.54	2.20	1.72	1.38
Доля общ.	0.24	0.14	0.12	0.10	0.08

Примечание. Критическое значение факторной нагрузки – 0.30 при уровне значимости α между 0.05 и 0.01 (надежность 97–98%).

Note. The critical value of the factor load is 0.30 at a significance level α between 0.05 and 0.01 (the reliability of 97–98%).

а	б
$I_{32} \frac{Fe_{95}Bi_{90}Pb_{78}Mg_{77}P_{71}Mn_{63}Zr_{63}Al_{57}Au_{29}Cr_{29}Ca_{24}Si_{17}}{-}$	$I_{24} \frac{Fe_{90}Mg_{82}Mn_{77}P_{72}Al_{70}Zr_{68}Si_{39}Gr_{39}Au_{36}Ca_{36}Zr_{31}}{-}$
$II_{17} \frac{Pb_{41}P_{39}Bi_{34}Zr_{36}Ti_{21}Zn_{19}}{Si_{88}Al_{68}Ca_{68}Mn_{32}Mg_{25}Au_{24}Cr_{16}}$	$II_{14} \frac{Si_{83}Ca_{74}Al_{57}Px_{38}}{P_{42}Zr_{40}Zr_{37}}$
$IV_{10} \frac{Zr_{51}P_{43}Zn_{42}Si_{30}Ca_{26}}{Au_{59}Sn_{44}Mn_{26}Pb_{18}Fe_{17}}$	$III_{12} \frac{Epd_{51}Amph_{50}Zrn_{48}Alm_{40}Mnz_{34}(P_{26})}{Au_{65}Gr_{62}Sn_{43}}$

Рис. 10. Результаты статистической обработки: а – выборка № 1, структуры факторов I, II и IV; б – выборка № 2, структуры факторов I, II и III.

Цифра рядом с фактором – его вес, числитель и знаменатель – элементы с положительными и отрицательными значимыми нагрузками на фактор, соответственно. Цифра рядом с элементом – значение факторной нагрузки, умноженное на 100.

Fig. 10. Results of statistical processing: а – sample no. 1, structures of factors I, II, and IV; б – sample no. 2, structures of factors I, II, and III.

Number near the factor number – its weight, nominator and denominator – elements with positive and negative significant factor loads, respectively. Number near the element – the factor load multiplied by 100.

Источником преобладающего в шлиховых пробах авгита являются, по-видимому, девонские андезиты и их туфы. Поскольку в зонах контакта гранитов с прослоями известняков сосредоточены скарны, наличие в пробах пироксенов диопсид-геденбергитового ряда и устойчиво ассоциирующих с ними гранатов андрадит-гроссулярового ряда указывает на снос со скарнов.

Известно, что гранат в россыпях сохраняет свои морфоструктурные особенности, которые были присущи ему в коренных источниках (Левченко, Соленикова, 2022), поэтому цвет, форма, химический состав граната и характер включений в нем могут указывать на условия его образования. Хорошо сохранившиеся кристаллы с огранкой свидетельствуют о близком сносе материала. Также известно, что кальциевые гранаты – типичные минералы скарнов. Это позволяет полагать, что источником гранатов альмандин-спессартинового состава, содержащихся, преимущественно, в шлихах восточной части изученной площади, являются субщелочные граниты позднего мела (рис. 6).

Попадая в россыпи при разрушении коренных месторождений, самородное золото всегда сохраняет сведения о коренном источнике, а морфология и состав минерала являются показателями источников питания россыпей, дальности и условий переноса материала в экзогенных условиях (Николаева, 1978).

В шлихах превалирует самородное золото комковидной формы, что свойственно золоту скарновой формации (Столяров, 2015). Удлиненная приплюснутая форма зерен также свидетельствует о его метасоматическом происхождении (Окулов, 2017). Такие закономерности отмечаются на других известных объектах: преимущественно, комковидные и комковидно-ячеистые золотины характерны для скарнов Топольнинского рудного поля (Окулов, 2017) и известного Натальевского золото-скарнового месторождения (Беневольский и др., 2002). Отсутствие в шлихах зерен золота чешуйчатой и листоватой формы обычно считается признаком продолжительного пребывания в подвижной водной среде и длительного переноса (Петровская, 1973).

На близость расположения коренного источника и непродолжительное пребывание в водной среде указывают не только морфологические особенности самородного золота. По результатам электронно-микроскопических и микрозондовых исследований в золотилах отсутствуют высокопробные участки, присущие более чистому жильному золоту. Косвенно эта особенность химического состава золота может указывать на преимущественно скарно-вый источник сноса. Предыдущие результаты показали, что золото из кварцевых жил региона отличается высокой пробностью (Павлова и др., 2022).

Единичный агрегат с тонкими высокопробными прожилками свидетельствует о его значи-

тельном преобразовании (Петровская, 1973). Формирование маломощных высокопробных оболочек («кайм выноса») связывают с гипергенными процессами, в результате которых происходит осаждение золота из окружающего раствора и, как следствие, эпитаксиальное нарастание на зерна более чистых оболочек (Lalomov et al., 2023).

Статистические закономерности

Фактор I в обеих выборках выявил ассоциацию химических элементов, отражающих минеральный состав тяжелой фракции шлиховых проб в целом. Выделяются элементы, связанные, в первую очередь, с акцессорными минералами субщелочных гранитов, но также и со скарновыми минералами: магнетитом, ильменитом, гранатом, монацитом, цирконом, алланитом, пиритом, амфиболом и пироксеном. Этот фактор – результат работы всех источников, существующих в пределах изучаемого участка. В выборке № 2 самородное золото по уровню факторной нагрузки группируется с кальциевыми гранатами и элементами, входящими в состав этих гранатов.

Фактор II также интерпретируется в обеих выборках подобным образом и позволяет предполагать два ведущих источника сноса. В выборках № 1 и № 2 выделяются две антагонистические ассоциации, связанные с гранитами.

В выборке № 1 положительные факторные нагрузки имеют элементы, отвечающие акцессорным минералам субщелочных гранитов (монацит, циркон, титанит, рутил, сфалерит), а отрицательные – элементы скарновых минералов (гранаты гроссуляр-андрадитового ряда, пироксены диопсид-геденбергитового ряда, эпидот). Во втором факторе выборки № 2, наоборот, положительные факторные нагрузки имеют Si, Ca и Al – элементы гранатов гроссуляр-андрадитового состава и пироксенов диопсид-геденбергитового ряда. Отрицательные факторные нагрузки имеют P, отвечающий монациту, и Zr, отвечающий циркону, т. е. минералам гранитов. В структуре второго фактора выборки № 1 скарновая ассоциация обособлена вместе с самородным золотом.

Очевидно, что второй фактор в обоих случаях характеризует два источника сноса – субщелочные граниты и скарны. Субщелочные граниты являются постоянным устойчивым источником сноса, а локальные скарновые тела в разрезе девонских толщ (контакт позднемеловой интрузии с карбонатными прослоями девона) обеспечивают,

вероятно, нерегулярный (периодический) снос. Соотношение материала двух источников сноса определяется в зависимости от того, который из них в настоящий момент дренируется руч. Кукулькинджа и его притоками. На карте значений второго фактора выборки № 1 локально расположенные точки с отрицательными значениями, соответствующие скарновому сносу, тяготеют к притоку, дренирующему зоны контакта интрузий с породами девона, содержащими прослой известняков (рис. 11). В поле отрицательных факторных нагрузок вместе с элементами типовых минералов скарнов попадает самородное золото (рис. 10а).

Таким образом, устойчивость структур двух первых факторов в выборках разного формата позволяет доверять полученным результатам статистической обработки и сформулированным на их базе выводам.

Диаграмма факторов I и II выборки № 1 на рис. 12 показывает обратную зависимость между значениями I и отрицательными значениями II фактора (снос со скарнов). Локальные скарновые тела в разрезе девонских толщ обеспечивают периодический снос скарновых минералов. При появлении такого второго источника сноса уменьшается доля акцессорных минералов гранитов в шлихах. Количество поступающего золота увеличивается при возрастании именно скарнового сноса. Шлиховые пробы с наибольшим количеством знаков золота по ручью отобраны из аллювия притоков, дренирующих контакты гранитов и девонских пород с известняками (рис. 13).

Фактор IV выборки № 1 соответствует локальным высоким содержаниям золота в пробах. Вероятно, это фактор «гидродинамических ловушек» тяжелых минералов (в них попадают наиболее крупные золотины в том числе – до 3.7 мм при минимальном размере 320 мкм). На карте значений четвертого фактора видно, что точки, отвечающие отрицательным значениям (и пробам с наибольшим количеством золота) располагаются на поворотах русла, его меандрирования, где направление течения изменяется (рис. 14). Эти пробы приурочены к местам слияния притоков с основным руслом ручья, где происходит расширение русла и уменьшается скорость водного потока.

Фактор III выборки № 2 выделяет богатые золотом шлихи (фактор золотоносности шлихов). Анализ диаграммы значений факторов II и III показывает, что шлихи с большим количеством золота сопряжены не только со скарновым источником

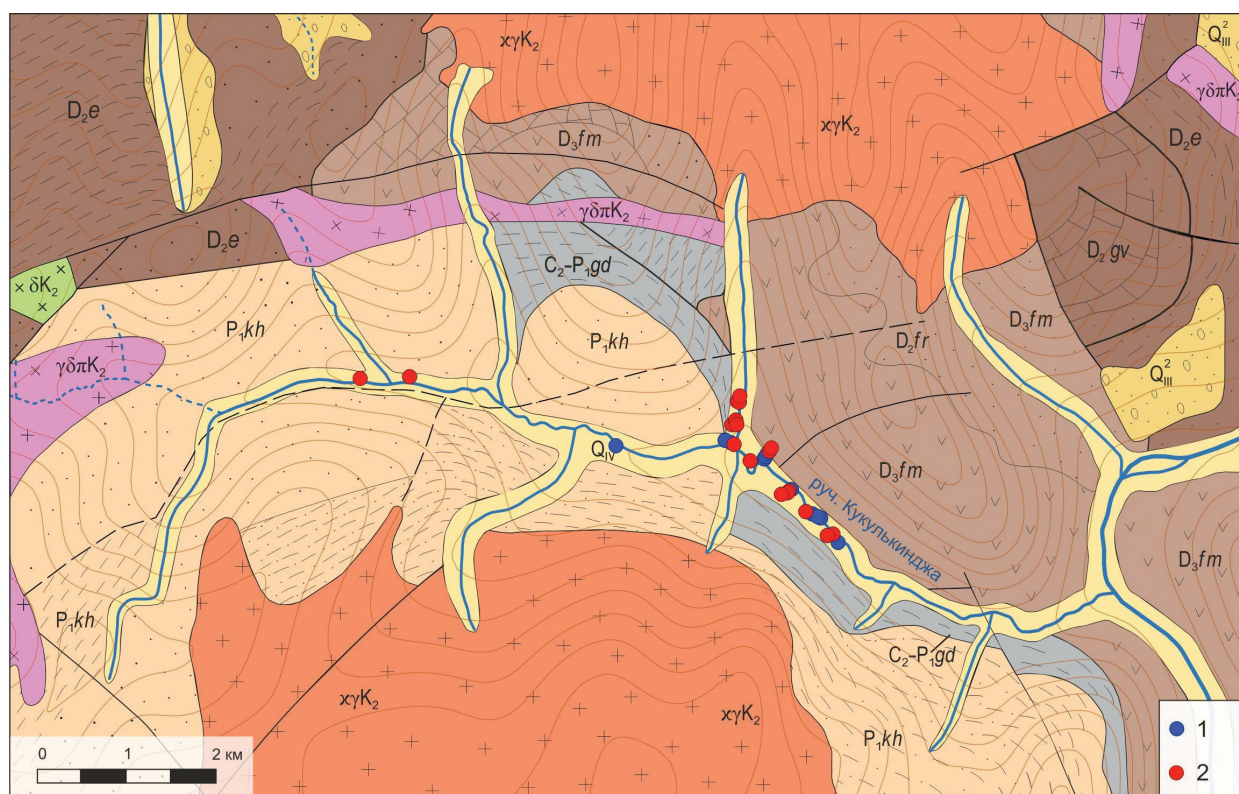


Рис. 11. Распределение значений фактора II для шлихов изученной площади.

Здесь и на рис. 14 и 16, значения фактора в точках отбора шлиховых проб: 1 – отрицательные, 2 – положительные.

Fig. 11. Distribution of factor II values for heavy mineral concentrates of the studied area.

Here and in Figs. 14 and 16, the factor values in sampling points: 1 – negative, 2 – positive.

сноса, определяющим положительные значения фактора II (рис. 15). Помимо источника сноса, накопление золота в тяжелой фракции аллювия определяется благоприятными условиями его осаждения, т. е. наличием гидродинамических ловушек. Мы полагаем, что именно с этим связано положение точек с высоким содержанием золота в поле отрицательных значений фактора II. Для таких проб ключевую роль в осаждении золота сыграл не столько источник сноса, сколько благоприятные условия его осаждения. Действительно, точки с отрицательными значениями фактора III приурочены к поворотам русла, к месту впадения притоков в руч. Кукулькинджа, наиболее благоприятным для повышенного накопления тяжелых золотин областям (рис. 16). И фактор IV для выборки № 1, и фактор III для выборки № 2 отвечают благоприятным условиям накопления тяжелой фракции аллювия с повышенным содержанием золота – гидродинамическим ловушкам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно сформулировать следующие выводы. Минеральный состав шлиховых проб демонстрирует наличие характерных для скарнов: гранатовgrossуляр-андрадитового ряда, пироксеновдиопсид-геденбергитового ряда, эпидота. Морфология и химический состав самородного золота свидетельствуют в пользу скарнового источника его сноса, расположенного в непосредственной близости его от участков накопления тяжелых минералов, что подтверждается слабой окатанностью самородного золота, присутствием минералов со слабой механической прочностью (киновари и малахита). Кроме того, высокопробные каймы на зернах самородного золота очень тонкие.

Статистическими методами выявлены три устойчивые шлихогеохимические ассоциации. Первая выделяется в первом факторе обеих выборок и обусловлена присутствием в шлихах минералов как субщелочных гранитов (гранатовальмандин-спессартинового состава, монацита, цир-

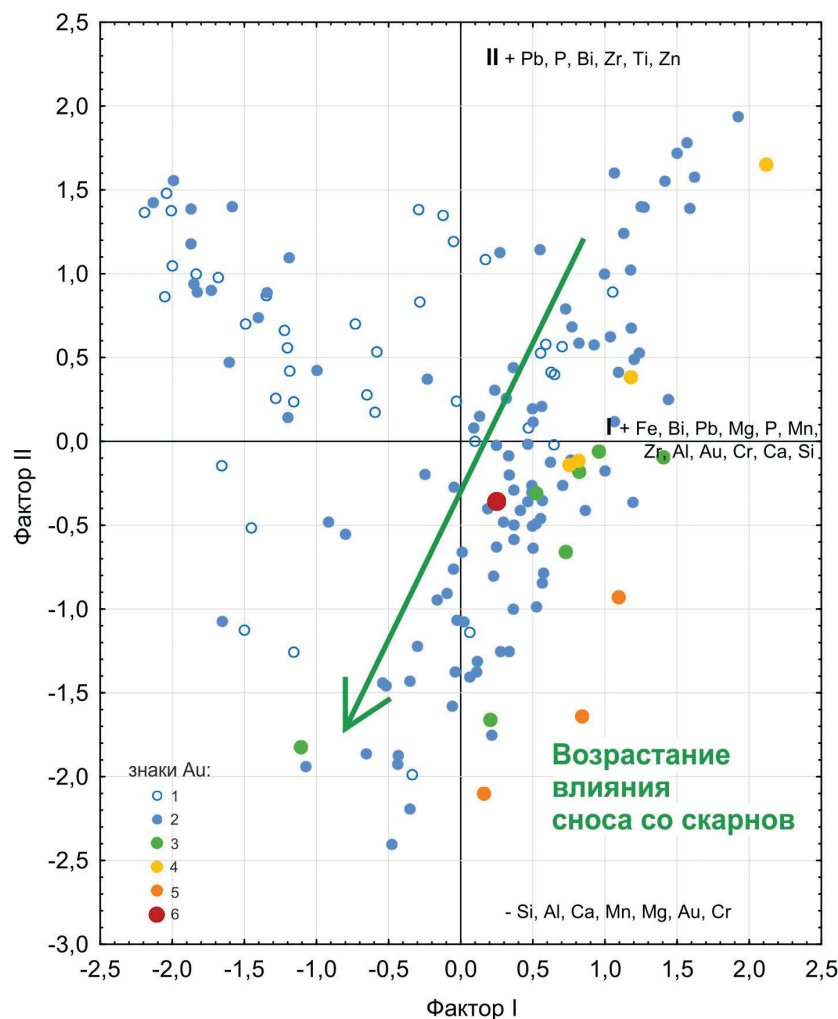


Рис. 12. Диаграмма значений I и II факторов.

Здесь и на рис. 15, количество знаков золота в шлиховых пробах: 1 – золота нет; 2 – 0–10; 3 – 10–20; 4 – 20–30; 5 – 30–50; 6 – 50–62.

Fig. 12. Diagram of values of factors I and II.

Here and in Fig. 15, the number of gold signs in the heavy mineral concentrates: 1 – no gold; 2 – 0–10; 3 – 10–20; 4 – 20–30; 5 – 30–50; 6 – 50–62.

кона, пирита, амфиболов, авгита, алланита), так и скарнов (гранатовgrossуляр-андрадитового ряда, диопсид-геденбергита). Две других выделяются во втором факторе обеих выборок. Одна представлена ассоциацией Si, Ca и Al с пироксенами и обусловлена присутствием в шлихах скарновых минералов – grossуляр-андрадитовых гранатов, пироксенов ряда диопсид-геденбергит и эпидота. Другая представлена P и Zr и связана с акцессорными минералами субщелочных гранитов – монацитом и цирконом.

Коренным источником самородного золота, на основе полученных нами результатов, являются скарны, локализованные на контакте субщелочных гранитов и девонских известняков. Об этом сви-

детельствуют типоморфные особенности золота, а также его присутствие в шлихогеохимической ассоциации, с преобладанием Ca гранатов и клинопироксенов диопсид-геденбергитового ряда. Максимальное количество золота в тяжелой фракции аллювия обеспечивается периодическим возрастанием роли из скарнового источника сноса в сочетании с влиянием гидродинамического фактора. Следует подчеркнуть хорошую сопоставимость минеральных и шлихогеохимических ассоциаций, выделенных факторным анализом, что позволяет говорить о надежности сформулированных выводов.

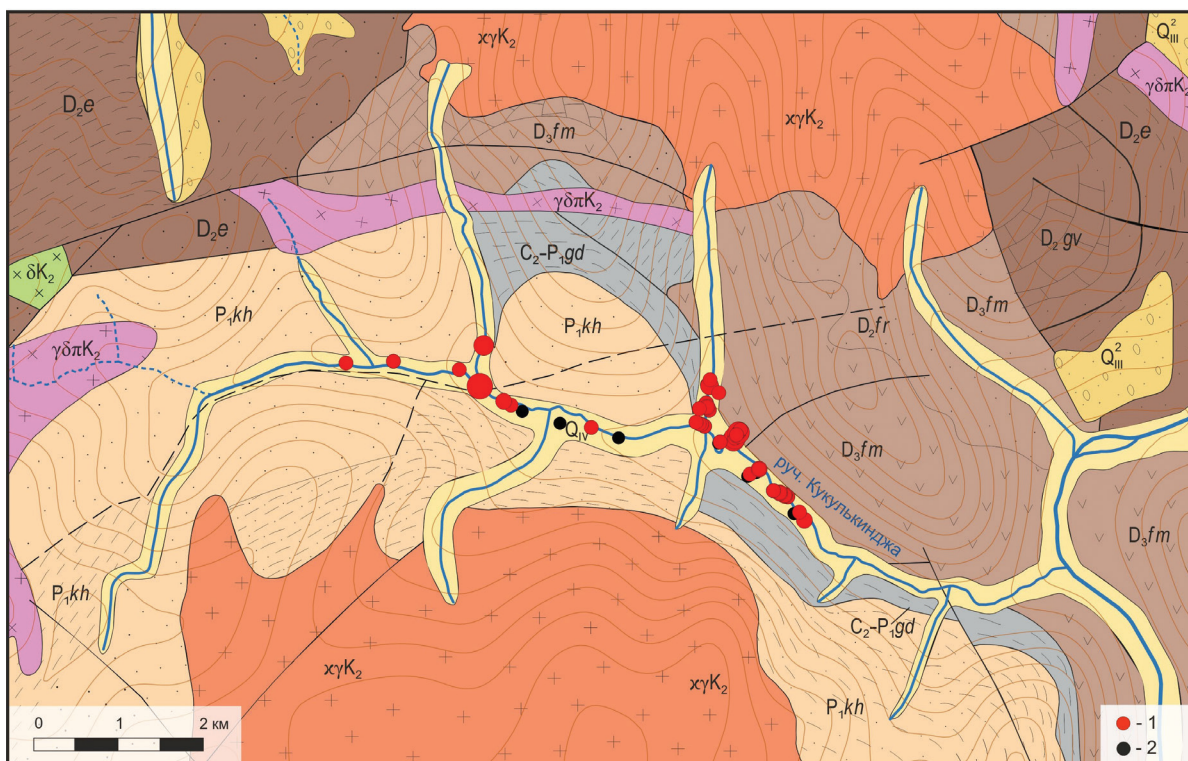


Рис. 13. Золотоносность шлиховых проб из аллювия руч. Кукулькинджа.

1 – пробы с золотом (размер круга отражает количество знаков золота в пробах); 2 – пробы без золота.

Fig. 13. Gold potential of heavy concentrates from alluvium of the Kukulkindzha Creek.

1 – samples with native gold (the circle size reflects the amount of native gold grains in samples); 2 – samples without native gold.

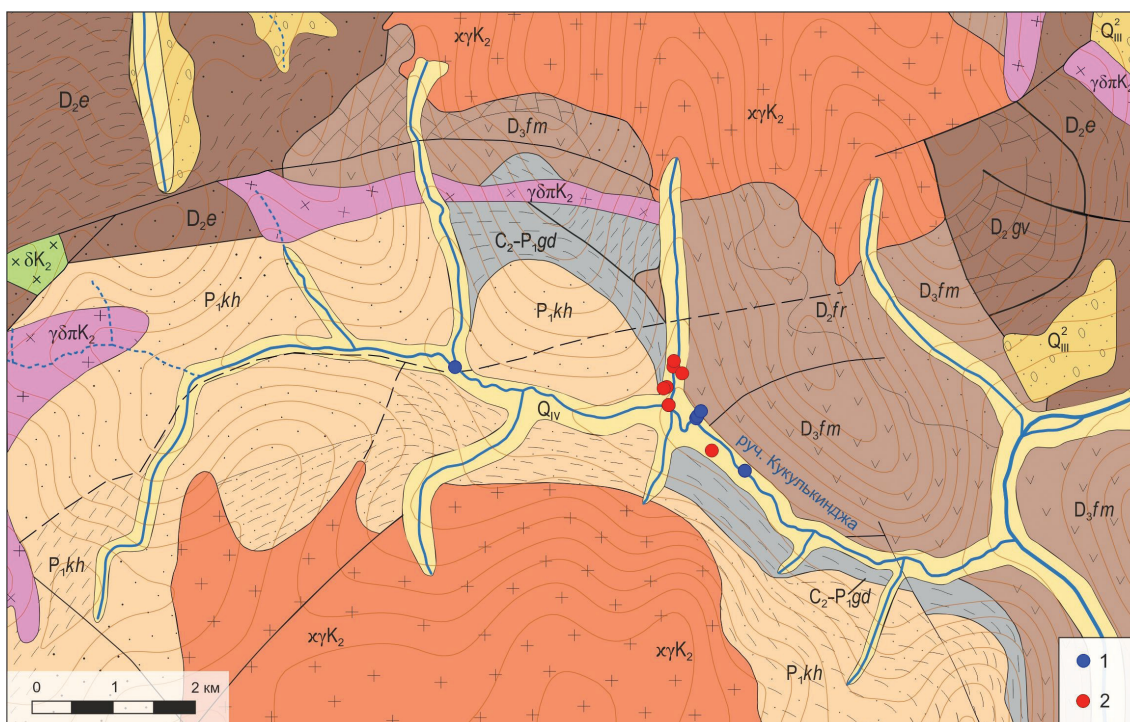


Рис. 14. Распределение значений фактора IV для шлихов изученной площади.

Fig. 14. Distribution of factor IV values for heavy mineral concentrates of the studied area.

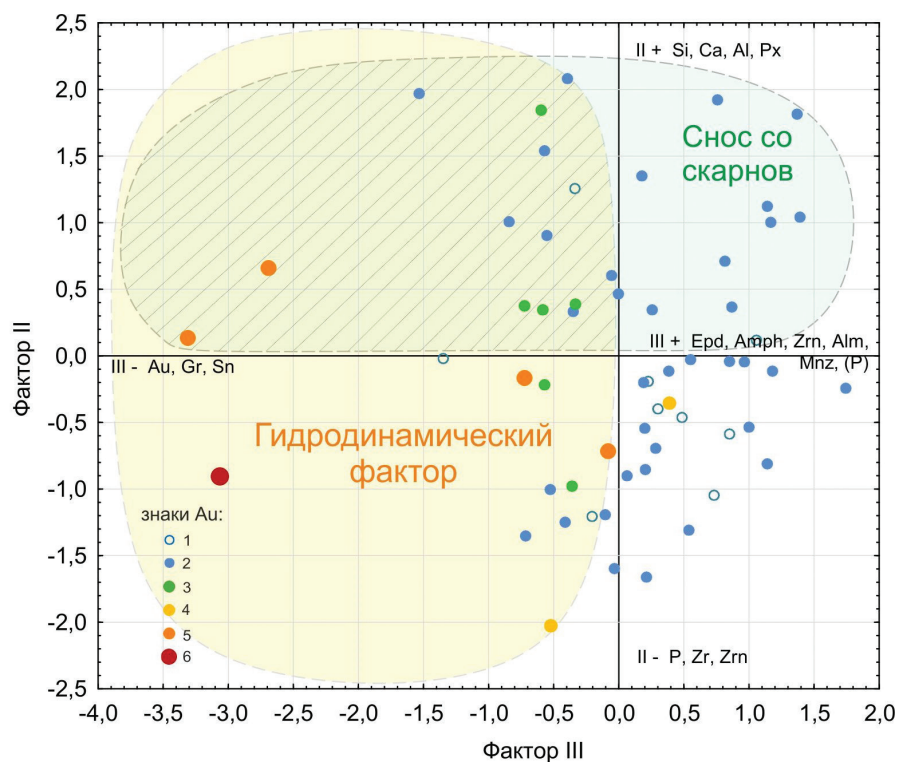


Рис. 15. Диаграмма значений II и III факторов.

Fig. 15. Diagram of values of factors II and III.

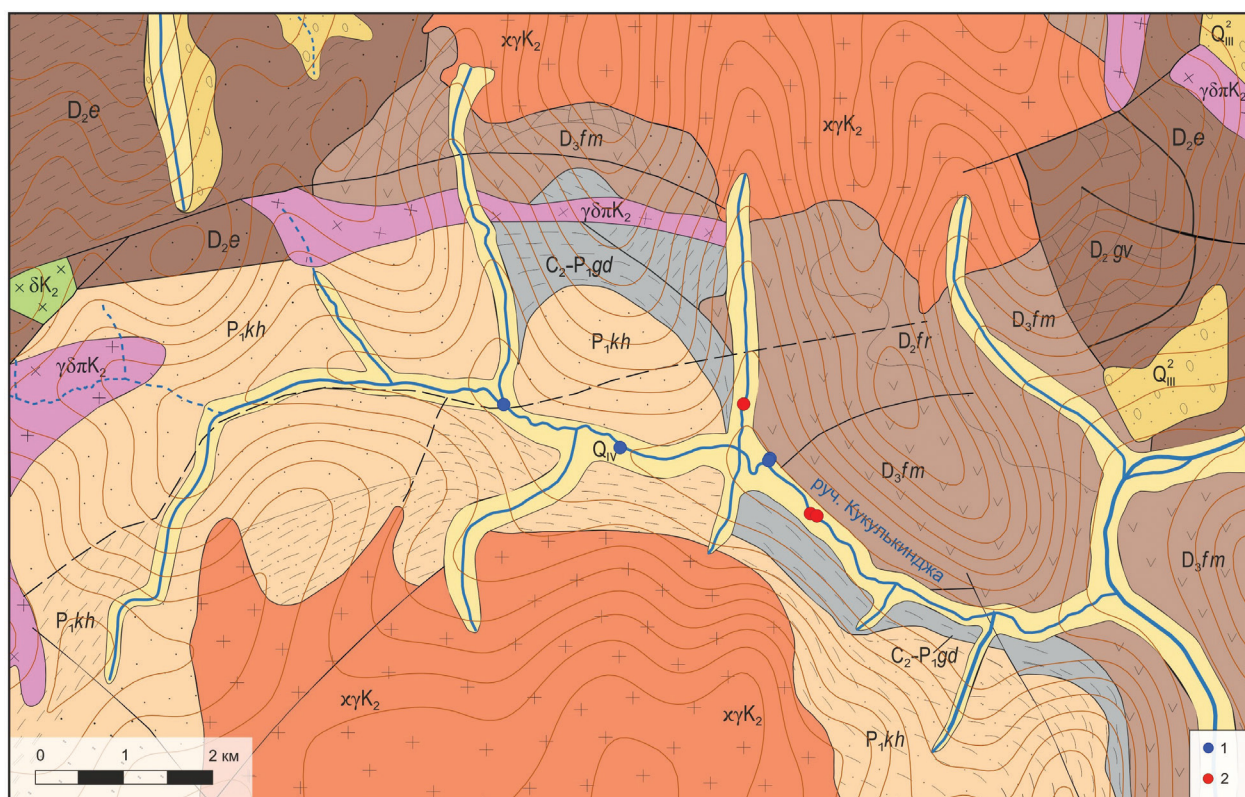


Рис. 16. Распределение значений фактора III для шлихов изученной площади.

Fig. 16. Distribution of factor III values for heavy mineral concentrates of the studied area.

ЛИТЕРАТУРА

Беневольский Б.И., Блинова Е.В., Бражник А.В., Кривцов А.И., Крытня Е.Е., Лобач В.И., Михайлова М.С., Мызенкова Л.Ф., Новиков В.П., Стороженко А.А., Чанышев И.С. (2002) Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «Золото». М., ЦНИГРИ, 182 с.

Братухин Ю.Г., Юдина В.Н. (1958ф) О работе Сибеганской детальной геолого-поисковой партии масштаба 1 : 50 000. Т. I: отчет Приморской комплексной экспедиции, Охотской группы партий за 1958 г. 354 с.

Винчелл А.Н., Винчелл Г. (1953) Оптическая минералогия. М., Издательство иностранной литературы, 561 с

Воробьев А.И., Хайрулина Т.П., Замбрицкая О.И., Викторovich Г.Г. (1992ф) О результатах поисковых и разведочных работ на россыпное золото в междуречье среднего течения рек Ульбея-Кухтуй: отчет Охотской геологоразведочной экспедиции за 1990 г. Охотск, 62 с.

Замбрицкий А.И., Двоенко В.И., Хорфетс Ю.Р., Хайрулина Т.Н., Замбрицкая О.И., Сафин Р.Г., Козачук Л.В. (1992ф) О результатах геологоразведочных работ на россыпное золото: отчет Охотской геологоразведочной экспедиции за 1991 г. Охотск, 53 с.

Зуев М.В. (1985ф) О поисковых работах на золото в восточной части Охотского района: отчет Охотской геологоразведочной экспедиции (Кавинская партия) за 1981–1985 гг. в 2-х томах. Т. II. Охотск, 274 с.

Казакова Г.Г., Васькин А.Ф., Кропачев А.П., Щербakov О.И. и др. (2013) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-54 Оймякон. Объяснительная записка. СПб, Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 400 с.

Копченова Е.В. (1951) Минералогический анализ шлихов. М., Госгеоллиздат, 214 с.

Коробейников А.Ф. (1976) Гранаты золотоносных скарнов Саяно-Алтайской складчатой области. *Известия ТПУ*, 289, 37–46.

Костерин А.В. (1972) Шлихо-минералогический и шлихо-геохимический методы поисков рудных месторождений, Новосибирск, Наука, 127 с.

Кузьмин В.К., Глебовицкий В.А., Родионов Н.В., Антонов А.В., Богомоллов Е.С., Сергеев С.А. () Главные этапы формирования палеоархейской коры Кухтуйского выступа Охотского массива. *Стратиграфия. Геологическая корреляция*, 17 (4), 3–22.

Левченко Е.Н., Соленикова Е.О. (2022) Морфоструктурные особенности гранатов прибрежно-морских россыпей, определяющие технологию их переработки. *Руды и металлы*, (1), 94–105. <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2022-10005>

Николаева Л.А. (1978) Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. М., Недра, 54 с.

Окулов А.В. (2017) Позиция, геологическое строение и минералого-геохимическая характеристика золоторудных объектов Топольнинского рудного поля (Алтайский край). Дисс. на соиск. степ. канд. геол.-мин. наук. М., ЦНИГРИ, 187 с.

Павлова М.А., Каварзин П.В., Бушуев Я.Ю., Петров С.В. (2022) Коренная и россыпная золоторудная минерализация юго-западного обрамления Ульбейского гранитоидного массива. *Уральская минералогическая школа–2022*. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, УГГУ, УрО РМО, 124–126.

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

Столяров В.В. (2015) Состав, условия локализации и поисковые признаки оруденения золото-скарнового типа северного фланга Тырныаузского рудного поля (Кабардино-Балкарская республика). Дисс. на соиск. степ. канд. геол.-мин. наук. Ростов-на-Дону, ЮНЦ РАН, 24 с.

Шило Н.А. (2002) Учение о россыпях. Теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. Владивосток, Дальнаука, 577 с.

Lalomov A., Grigorieva A., Kotov A., Ivanova L. (2023) Typomorphic features and source of native gold from the Sukhoi Log area placer deposits, Bodaibo gold-bearing district, Siberia, Russia. *Minerals*, 13(5), 707. <https://doi.org/10.3390/min13050707>

REFERENCES

Benevolsky B.I., Blinova E.V., Brazhnik A.V., Krivtsov A.I., Krytnya E.E., Lobach V.I., Mikhailova M.S., Myzenkova L.F., Novikov V.P., Storozhenko A.A., Chanyshev I.S. (2002) *Methodic guide on the assessment of forecast resources of diamonds, precious and non-ferrous metals. Issue "Gold"*. Moscow, TsNIGRI, 182 p. (in Russian)

Bratukhin Y.G., Yudina V.N. (1958) *Unpublished report of the Primorsky complex expedition of the Okhotsk party groups for 1958 about the works of the Sibegan detailed geological prospecting party on a scale of 1 : 50000*. Volume 1, 354 p. (in Russian)

Kazakova G.G., Vaskin A.F., Kropachev A.P., Shcherbakov O.I. et al. (2013) *State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Verkhoyansk-Kolyma series. Sheet R-54 Oymyakon. Explanatory note*. St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 400 p. (in Russian)

Kopchenova E.V. (1951) *Mineralogical analysis of heavy concentrates*. Moscow, Gosgeolizdat, 214 p. (in Russian)

Korobeynikov A.F. (1976) Garnets of gold-bearing skarns of the Sayan-Altai fold region. *Izvestia TPU (Proceedings of the Tomsk Polytechnic University)*, 289, 37–46 (in Russian)

- Kosterin A.V. (1972) *Minerals and heavy concentrates methods of prospecting for ore deposits*. Novosibirsk, Nauka, 127 p. (in Russian)
- Kuz'min V.K., Glebovitsky V.A., Rodionov N.V., Antonov A.V., Bogomolov E.S., Sergeev S.A. (2009) Main formation stages of the Paleoproterozoic crust of the Kukhtui inlier of the Okhotsk massif. *Stratigraphy. Geological Correlation*, 17(4), 3–22. <https://doi.org/10.1134/S0869593809040017>
- Lalomon A., Grigorieva A., Kotov A., Ivanova L. (2023) Typomorphic features and source of native gold from the Sukhoi Log area placer deposits, Bodaibo gold-bearing district, Siberia, Russia. *Minerals*, 13(5), 707. <https://doi.org/10.3390/min13050707>
- Levchenko E.N., Solenikova E.O. (2022) Morphostructural features of garnets of coastal-marine placers responsible for the technology of their processing. *Rudy i metally (Ores and Metals)*, (1), 94–105. (in Russian)
- Nikolaeva L.A. (1978) *Genetic features of native gold as criteria for searching and evaluation of ores and placers*. Moscow, Nedra, 54 p. (in Russian)
- Okulov A.V. (2017) *Position, geological structure and mineralogical and geochemical characteristics of gold objects of the Topolninsky ore field (Altai region)*. (Dissertation of Candidate of Geological-Mineralogical Sciences). Moscow, TsNIGRI, 187 p.
- Pavlova M.A., Kaverzin P.V., Bushuev Y.Y., Petrov S.V. (2022) Primary and alluvial gold mineralization of the southwestern frame of the Ulbey granitoid pluton. *Uralskaya mineralogicheskaya shkola-2022 (Urals Mineralogical School-2022)*. Yekaterinburg, IGG UrO RAN, UGGU, UrO RMO, 124–126. (in Russian)
- Pavlova M.A., Smirnov D.I., Guskov D.A., Petrov S.V., Rassomakhin M.A., Nefedova A.Y. (2023) Mineralogical and geochemical features of concentrates from streams of the northwestern tip of the Okhotsk terrane (Khabarovsk Territory). *Mineralogiya (Mineralogy)*, 9(4), 50–66 (in Russian) <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2023-9-4-4>
- Petrovskaya N.V. (1973) *Native gold. General characteristics, typomorphism, and questions of genesis*. Moscow, Nauka 345 p. (in Russian)
- Stolyarov V.V. (2014) *Composition, localization conditions, and prospecting signatures of gold-skarn mineralization of the northern flank of the Tyrnyauz ore field (Kabardino-Balkarian Republic)*. (Dissertation of Candidate of Geological-Mineralogical Sciences). Rostov-on-Don, YuNTs RAN, 24 p. (in Russian)
- Shilo N.A. (2002) *A doctrine of placers. A theory of placer-forming ore complexes and placers*. Vladivostok, Dal'nauka, 577 p. (in Russian)
- Theodore T.G., Orris G.J., Hammerstrom J.M., Bliss J.D. (1991) Gold-bearing skarns. *USGS Publications Warehouse*, 6–7.
- Vakhrushev V.A. (1972) *Mineralogy, geochemistry and formation of skarn gold deposits*. Novosibirsk, Nauka, 241 p. (in Russian)
- Vorob'ev A.I., Khayrulina T.P., Zambrzhitskaya O.I., Viktorovich G.G. (1992) *Unpublished report of the Okhotsk geological exploration expedition of 1990 about the results of prospecting and exploration for placer gold of the middle reaches of the Ulbey-Kukhtui interfluve*. Okhotsk, 62 p. (in Russian)
- Winchell A.N., Winchell H. (1953) *Optical mineralogy*. M., Publishing of foreign literature, 561 p. (in Russian)
- Zambrzhitsky A.I., Dvoenko V.I., Khorfets Y.R., Khayrulina T.N., Zambrzhitskaya O.I., Safin R.G., Kozachuk L.V. (1992) *Unpublished report of the Okhotsk geological exploration expedition of 1991 about the results of geological exploration for placer gold*. Okhotsk, 53 p. (in Russian)
- Zuev M.V. (1985) *Unpublished report of the Okhotsk geological exploration expedition (Kava party) of 1981–1985 on prospecting for gold in the eastern part of the Okhotsk region*. Volume II. Okhotsk, 274 p. (in Russian)

Информация об авторах

Нефедова Александра Ярославовна – магистрант, Санкт-Петербургский государственный университет, sascha_nefedova@mail.ru

Котова Ирина Клавдиевна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет, kotova_i@mail.ru

Павлова Милана Александровна – младший научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, milana.a.pavlova@yandex.ru

Смирнов Дмитрий Игоревич – участковый геолог, ООО Полюс Сухой Лог, smirnov.di.10@mail.ru

Гуськов Дмитрий Анатольевич – магистрант, Санкт-Петербургский государственный университет, Dmitry.A@yandex.ru

Петров Сергей Викторович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет, petrov64@gmail.com

Information about the authors

Aleksandra Ya. Nefedova – master student, St. Petersburg State University, sascha_nefjedova@mail.ru

Irina K. Kotova – Candidate of Geological-Mineralogical Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State University, kotova_i@mail.ru

Milana A. Pavlova – junior researcher, South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geology UB RAS, milana.a.pavlova@yandex.ru

Dmitry I. Smirnov – geologists, JSC Polyus Sukhoi Log, smirnov.di.10@mail.ru

Dmitry A. Guskov – master student, St. Petersburg State University, Guskov.Dmitry.A@yandex.ru

Sergey V. Petrov – Candidate of Geological-Mineralogical Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State University, petrov64@gmail.com