

УДК 553.068.54

DOI: 10.35597/2313-545X-2023-9-4-4

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ШЛИХОВ ИЗ РУЧЬЕВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ОКОНЕЧНОСТИ ОХОТСКОГО ТЕРРЕЙНА (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)**М.А. Павлова¹, Д.И. Смирнов², Д.А. Гуськов², С.В. Петров², М.А. Рассомахин¹, А.Я. Нефедова²**¹ Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Институт минералогии, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; milana.a.pavlova@yandex.ru² Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. 7-9-11, г. Санкт-Петербург, 199034 Россия

Статья поступила в редакцию 20.07.2023 г., принята к печати 09.12.2023 г.

MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF HEAVY CONCENTRATES FROM CREEKS OF THE NORTHWESTERN END OF THE OKHOTSK TERRANE (KHABAROVSK KRAI)**M.A. Pavlova¹, D.I. Smirnov², D.A. Guskov², S.V. Petrov², M.A. Rassomakhin¹, Nefyodova A.Y.²**¹ South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geology UB RAS, Institute of Mineralogy, Miass, Chelyabinsk district, 456317 Russia; milana.a.pavlova@yandex.ru² St. Petersburg State University, Universitetskaya nab. 7-9-11, St. Petersburg, 199034 Russia

Received 20.07.2023, accepted 09.12.2023

Аннотация. В работе приводятся минералогические и геохимические особенности золотоносных шлихов из восьми притоков руч. Анмандыкан 2-й в Хабаровском крае: Западный отвилок, Восточный отвилок, Сомнительный, Смежный, Перевальный, Соболев, Встречный и Хворый. Минеральный состав шлихов правых притоков отличается от левых значительно большим процентным содержанием минералов группы граната и сульфидов, а также самородного золота и меньшим содержанием циркона и амфиболов. Гранаты в шлихах различного состава представлены членами альмандинового и гроссуляр-андрадитового рядов. Зерна самородного золота в россыпях желтого цвета, мелкие, преимущественно слабой и средней окатанности, зачастую с минеральными включениями, представленными кварцем, реже полевыми шпатами, пиритом, оксидами и гидроксидами железа, цирконом. По составу самородное золото низкопробное, из примесей присутствует только Ag, отмечаются тонкие, прерывистые, пористые высокопробные каймы. Выявлены две золоторудные россыпные минеральные ассоциации, включающие в себя в первом случае самородное золото, халькопирит, сфалерит и пирит, а во втором случае – самородное золото, шеелит и минералы группы гранатов, преимущественно гроссуляр-андрадитового состава. На основании полученных данных сделан прогноз о существовании двух коренных источников золота, которые связаны с золото-кварц-сульфидной формацией и золоторудными скарнами. Сравнение результатов минералогического и геохимического методов исследования шлихов показало пригодность и экспрессность геохимического метода для интерпретации геологических и металлогенических особенностей исследуемой территории.

Ключевые слова: россыпи золота, самородное золото, минералогический анализ, геохимический метод, коренные источники золота, Охотский район.

Abstract. The work presents the mineralogical and geochemical features of heavy concentrates from eight gold-bearing tributaries of the Anmandykan 2nd Creek in Khabarovsk krai: West otvilok, East otvilok, Somnitelny, Smezchny, Perevalny, Sobol, Vstrechny and Khvory. The mineral composition of heavy concentrates of the right creeks differs from those of the left ones by a significantly higher percentage of minerals of the garnet group, sulfides and native gold and a lower content of zircon and amphiboles. Garnets in heavy concentrates have different compositions and belong to the almandine and grossular-andradite series. Native

gold grains in placers are yellow, small, mostly weak and medium-rounded, often with inclusions of quartz, feldspar, pyrite, iron oxides and hydroxides, and zircon. The native gold grains have low fineness and contain only Ag. The native gold grains are rimmed by thin, intermittent, porous aggregates of high-fineness gold. Two gold placer mineral assemblages are identified, which include native gold, chalcopyrite, sphalerite and pyrite in assemblage 1 and native gold, scheelite and minerals of the garnet group (mainly of the grossular-andradite composition) in assemblage 2. Our data allow the forecast of the presence of two primary gold sources of gold-quartz-sulfide and skarn types. The comparison of results of mineralogical and geochemical studies showed their suitability and expressiveness for the interpretation of geological and metallogenic features of the studied area.

Keywords: gold placers, native gold, mineralogical analysis, geochemical method, primary gold sources, Okhotsk region.

Введение

Бассейн ручья Анмандыкан 2-й располагается в северо-восточной части Охотского района Хабаровского края примерно в 200 км на север от р. п. Охотск. Ручей является притоком второго порядка р. Ульбея, которая протекает приблизительно в 10 км к востоку от водотока. Район исследования расположен в юго-западной части Охотско-Чукотского вулканического пояса. В пределах этой территории известно множество промышленных и непромышленных россыпных месторождений золота, однако их изученность остается на недостаточном уровне. Целью данной работы является определение потенциальных коренных источников золота путем анализа минералогических и геохимических особенностей шлихов из притоков руч. Анмандыкан 2-й.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили 79 малообъемных (5–42 л) шлиховых проб, отобранных из закопшек в аллювиальных и делювиальных отложениях глубиной от 0.1 до 0.9 м (табл. 1). Пробы были предоставлены ООО «ГПП Марекан» и представляли собой концентрат, отмытый до серого шлиха. Количественный минералогический анализ 37 шлиховых проб производился под бинокляром Leica M 125C (Ресурсный центр Санкт-Петербургского государственного университета

(РЦ СПбГУ) «Рентгенодифракционные методы исследования», г. Санкт-Петербург) с определением процентного объема каждого минерала для 1500 зерен из каждой пробы.

Из проб выделено 60 зерен самородного золота и 58 зерен минералов группы граната. Для определения химического состава зерна были помещены в эпоксидную шайбу и отполированы. Определение химического состава, а также получение изображений в режиме отраженных электронов производились на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с энергодисперсионной приставкой (аналитик Н.С. Власенко, РЦ СПбГУ «Геомодель», г. Санкт-Петербург) и Vega-3 Tescan (Южно-Уральский федеральный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс). Формулы гранатов рассчитаны с помощью программы MineralCalc v.1.1 (<https://petroexplorer.ru/ru/mnu-re-ru/st-mnu/mincalc-mnu-ru/57-mincalc-review-ru.html>, автор Е.В. Кориневский).

Геохимические данные для шлихов были получены с помощью портативного рентгенофлуоресцентного спектрометра Olympus Innov X Delta (ООО «Меффа Ру»). Для статистической обработки геохимических данных были выбраны химические элементы, содержание которых в большинстве проб превышает аналитический порог определения. Полученные данные были обработаны в программе Statistica 13.3 с помощью корреляционного и факторного анализов. Количество интервалов для

Для цитирования: Павлова М.А., Смирнов Д.И., Гуськов Д.А., Петров С.В., Рассомахин М.А., Нефедова А.Я.. Минералогические и геохимические особенности шлихов из ручьев северо-западной оконечности Охотского террейна (Хабаровский Край). *Минералогия*, 9(4), 50–66. DOI: 10.35597/2313-545X-2023-9-4-4

For citation: Pavlova M.A., Smirnov D.I., Guskov D.A., Petrov S.V., Rassomakhin M.A., A.Y. Nefyodova Mineralogical and geochemical features of heavy concentrates from creeks of the northwestern end of the Okhotsk terrane (Khabarovsk Krai). *Mineralogy*, 9(4), 50–66. DOI: 10.35597/2313-545X-2023-9-4-4.

Таблица 1

Материалы по ручьям бассейна руч. Анмандыкан 2-й

Table 1

Materials from tributaries of the Anmandykan 2nd Creek

№	Название водотока	Количество шлиховых проб	Количество шлиховых проб с самородным золотом	Количество проб, измеренных с использованием портативного XRF-анализатора	Количество проб, для которых произведен минералогический анализ
1	Хворый	31	21	31	8
2	Перевальный	6	1	6	5
3	Сомнительный	1	1	1	1
4	Западный отвилок	11	2	11	5
5	Встречный	8	0	8	5
6	Соболь	6	0	6	5
7	Смежный	3	0	3	3
8	Восточный отвилок	13	2	13	5

гистограммы содержания золота определено по формуле Стерджесса (Солонин, 2014).

В статье приняты следующие сокращения: Alm – альмандин, Amf – амфибол, Adr – андрадит, Au – золото, Chr – халькопирит, Gn – галенит, Grs – гроссуляр, Grt – гранат, Hem – гематит, Ilm – ильменит, Mnz – монацит, Mt – магнетит, Prp – пирроп, Py – пирит, Q – кварц, Sh – шеелит, Spl – спалерит, Sps – спессартин, Zrn – циркон.

Краткая геологическая характеристика района

Район исследования расположен в юго-западной части Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса, где он наложен на Охотский срединный массив (Гринберг, 1976). Непосредственно руч. Анмандыкан 2-й впадает в р. Ульбея и является ее притоком второго порядка. В пределах ручья на поверхность выходят толщи осадочного чехла Охотского срединного массива второго структурного этажа. Наиболее древними являются метаморфизованные осадочные породы (от глинистых сланцев до конгломератов, а также известняки и доломиты) верхнепротерозойского возраста (PR²) (Натапов и Сурмилова, 1999). С несогласием на докембрийских образованиях залегают породы среднего–верхнего девона, представляющие собой терригенные породы различной зернистости от глинистых сланцев до конгломератов с редкими прослоями известняков (D₂₋₃) (Шкиперман и др. 2016). Отложения верхнего девона представлены

андезитами, туфами андезитов, туфопесчаниками, реже конгломератами и известково-глинистыми сланцами (Зуев, 1985ф). Интрузивные образования представлены поздне меловыми породами Ульбейского гранитоидного комплекса Нюдско-куйдусунского габбро-гранодиорит-гранитного латерального ряда, слагающие Правоульбейский массив (К₂) (Казакова и др., 2013). Породы первой фазы представляют собой небольшие субизометричные и дайковые тела тоналитов, гранодиоритов, диоритов и кварцевых монцодиоритов; вторая фаза является преобладающей и представлена сиеногранитами и щелочными полевошпатовыми гранитами; третья фаза представлена дайковыми телами щелочных полевошпатовых и щелочных рибекит-арфведсонитовых гранитов (Матюша, 2009ф).

Левые притоки руч. Анмандыкан 2-й (руч. Встречный, Соболь, Смежный, Восточный отвилок) дренируют исключительно меловые породы (рис. 1). Руслу большинства ручьев расположены на магматических породах второй фазы Ульбейского комплекса. Ручей Встречный почти на всем своем протяжении дренирует породы первой фазы в отличие от ручья Смежный, который протекает через эти породы только в нижнем течении (Казакова и др., 2013) (рис. 1). Золоторудная минерализация на левых притоках руч. Анмандыкан 2-й проявлена слабо. Единственным ручьем, на котором обнаружены шлиховые пробы со знаками золота, является Восточный отвилок, в котором отмечена точка минерализации плутогенно-гидротермального серебро-полиметаллического типа (Ag, Pb, Zn).

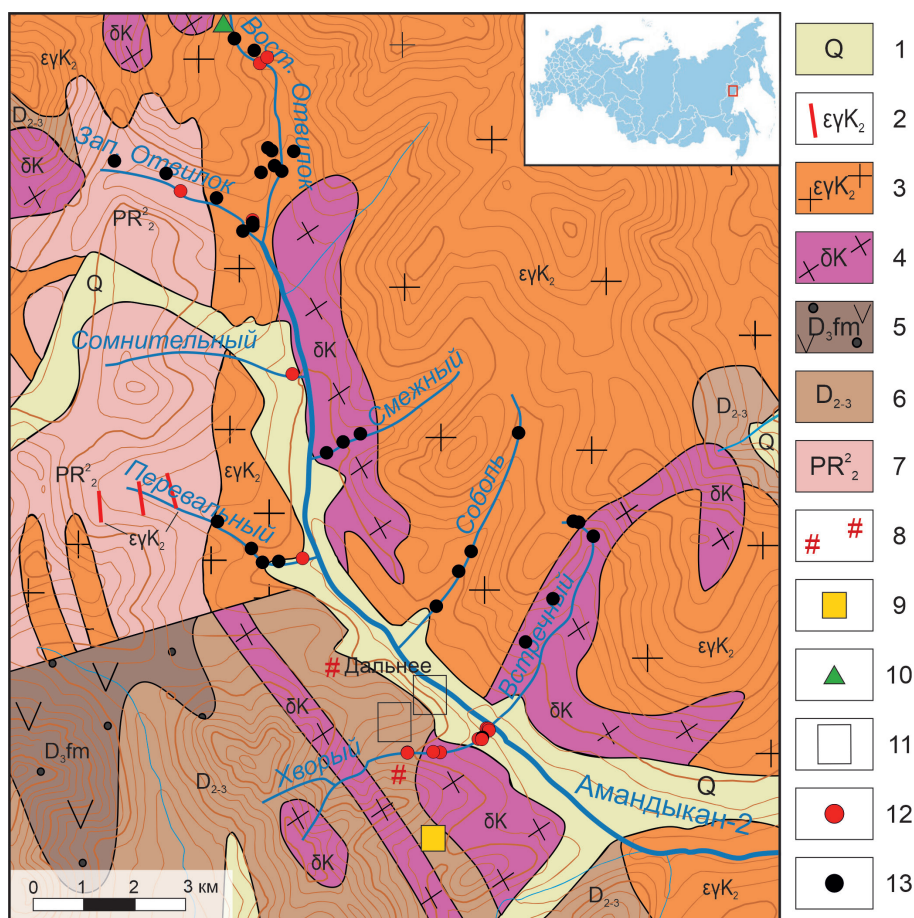


Рис. 1. Схема геологического строения бассейна руч. Амандыкан 2-ой (по Матюша, 2009ф).

1 – четвертичные отложения: пески, галечники, валунники, суглинки; 2–4 – меловые щелочно-гранитоидные интрузии: 2 – 3-я фаза: дайки щелочных полевошпатовых, щелочных рибекит-арфведсонитовых гранитов; 3 – 2-я фаза: сиенограниты, щелочные полевошпатовые граниты; 4 – 1-я фаза: тоналиты, гранодиориты, диориты, кварцевые монциодориты; 5 – позднедевонская вулканогенно-терригенная формация: туфы андезитов, туфонесчаники, конгломераты, известково-глинистые сланцы; 6 – средне-позднедевонская углеродисто-терригенно-карбонатная формация: известковистые песчаники, известково-глинистые сланцы, известняки, конгломераты; 7 – позднепротерозойская углеродисто-кремнисто-доломитовая формация: доломиты, песчанистые доломиты, кварцито-песчаники, кремни, алевролиты; 8–11 – точки с рудной минерализацией (Зуев, 1985ф, Матюша и др., 2009ф): 8 – гидротермально- и контактово-измененные породы, скарнирование, рудопроявление Дальнее; 9 – осадочно-гидротермального золото-серебро-полиметалльного типа (Au, Ag, Sb, Pb, Zn, Cu, As); 10 – плутогенно-гидротермального серебро-полиметаллического типа (Ag, Pb, Zn); 11 – скарнового золото-серебро-полиметалльного типа (Au, Ag, Pb, Zn, Cu, W, As); 12, 13 – точки шлихового опробования с золотом (12) и без золота (13).

Fig. 1. Scheme of geological structure of the basin of the Anmandykan 2nd Creek, after (Matyusha, 2009).

1 – Quaternary sediments: sand, pebble, boulder, loam; 2 – Cretaceous alkaline granitoid intrusions: 2 – phase 3: dikes of alkali feldspar and alkali ribekite-arfvedsonite granite; 3 – phase 2: syenogranite, alkali feldspar granite; 4 – phase 1: tonalite, granodiorite, diorite, quartz monzodiorite; 5 – Late Devonian volcanoterrigenous complex: andesite tuff, tuff sandstone, conglomerate, calcareous-clayey shale; 6 – Middle-Late Devonian carbonaceous-terrigenous-carbonate complex: calcareous sandstone, calcareous-clayey shale, limestone, conglomerate; 7 – Late Proterozoic carbonaceous-siliceous-dolomite complex: dolomite, sandy dolomite, quartzite-sandstone, chert, siltstone; 8–11 – ore mineralization points (Zuev, 1985, Matusha, 2009): 8 – hydrothermal and contact altered rocks, skarns, Dalnee occurrence; 9 – sedimentary-hydrothermal gold-silver-polymetallic type (Au, Ag, Sb, Pb, Zn, Cu, As); 10 – plutonic-hydrothermal silver-polymetallic type (Ag, Pb, Zn); 11 – skarn gold-silver-polymetallic type (Au, Ag, Pb, Zn, Cu, W, As); 12, 13 – sampling points of heavy mineral concentrates with (12) and without (13) gold.

Правые притоки руч. Анманныкан 2-й протекают через более разнообразные породы. Ручьи Западный отвилек, Сомнительный и Перевальный в верхнем течении дренируют верхнепротерозойские метасадочные породы. Ниже по течению их русла проходят по магматическим породам второй фазы Ульбейского гранитоидного комплекса. Ручей Перевальный пересекает серию субпараллельных даек щелочно-гранитоидного состава (Матюша, 2009ф; Казакова и др., 2013). В нескольких шлиховых пробах, отобранных на руч. Западный отвилек, Сомнительный и Перевальный ближе к устью, обнаружены знаки золота.

Ручей Хворый протекает через терригенно-карбонатные отложения среднего и позднего девона, а также через интрузивные тела первой фазы Ульбейского комплекса. Отличительной особенностью ручья является большое количество шлиховых проб с самородным золотом. Близ руч. Хворый предшественниками выделены эпидот-магнетитовые скарны, формирование которых связано с внедрением позднемеловых гранитоидов в терригенную толщу. Скарны образовались по пласту известковистых песчаников девона и содержат прожилково-вкрапленные и гнездовые сульфиды. Некоторые штучные пробы показали содержание золота до 4.5 г/т. Развитие благороднометаллической минерализации, предположительно, связано с данными метасоматитами (Зуев, 1985ф; Матюша, 2009ф; Казакова и др., 2013; Конченко, 2022).

Результаты исследований

Минеральный состав шлиховых проб

В минеральном составе шлиховых проб руч. Хворый первоочередную роль играют магнетит и ильменит, на долю которых приходится две трети шлиха. Второстепенные минералы – гранаты, амфиболы (актинолит), циркон. В резко подчиненном количестве обнаружены монацит, сфалерит и пирит. Эпизодически наблюдаются зерна халькопирита, шеелита и галенита (рис. 2а). В пяти шлихах выявлены знаки самородного золота. В шлиховой пробе 079/21 обнаружено единичное зерно малахита, а в пробе 078/21 – единичное зерно азурита.

Пробы, отобранные на руч. Перевальный, характеризуются повышенным содержанием магнетита, а также пониженным содержанием ильменита по отношению к пробам из остальных ручьев. Следует отметить, что оба минерала слагают большую

часть всех шлиховых проб. В остальном минеральный состав данного водотока сходен с пробами, отобранными на руч. Хворый. Отличие состоит в меньшем количестве сульфидов (пирит, сфалерит, халькопирит) (рис. 2б). В пробе 025/21 зафиксированы два знака самородного золота.

Ручей Сомнительный представлен единственной пробой 073/21. Большая часть шлиха (более 90 %) представлена ильменитом, магнетитом, гранатами и амфиболами. Содержания монацита, циркона, сфалерита и пирита варьируют от 1 до 4 %. Шеелит и галенит представлены единичными зернами (рис. 2в). В пробе зафиксирован один знак самородного золота.

Ручей Западный отвилек характеризуется повышенным содержанием магнетита в шлихах (более 40 %) по сравнению с другими водотоками. Ильменит и амфиболы слагают, соответственно, в среднем, 30 и 15 % объема всех проб. На гранаты, циркон и монацит приходится от 1.5 до 6.0 %. Сульфиды (пирит, сфалерит и галенит), а также шеелит составляют не более 1 % (рис. 2г). В пробе 060/21 обнаружено единичное зерно самородного золота.

Минеральный состав шлихов руч. Встречный имеет свои особенности. Большую часть проб слагают магнетит и ильменит, а также циркон, на долю которого приходится четверть шлиха. Остальные минералы не превышают 5 % объема проб. К ним относятся гранаты, амфиболы, монацит, сфалерит, пирит, шеелит (рис. 2д). В пробе 056/21 зафиксировано единичное зерно галенита. Самородное золото в шлихах не обнаружено.

Ручей Смежный представлен тремя пробами, около 60 % объема которых приходится на магнетит и ильменит. Содержание амфибола и циркона повышено и варьирует от 25 до 30 %. Минералы группы гранатов составляют не более 6–7 % объема проб. Оставшаяся часть представлена монацитом, сфалеритом, пиритом и шеелитом (рис. 2ж). Самородное золото в пробах не обнаружено.

Минеральный состав шлиховых проб, отобранных на руч. Соболев, сходен с таковым из шлихов руч. Смежный. Магнетит, ильменит, амфиболы и циркон являются преобладающими минералами, однако на циркон суммарно приходится более 20 % объема шлиха. Оставшиеся минералы имеют резко подчиненное количество. На гранаты приходится не более 5 %, на монацит – 3–4 %, на сульфиды (пирит, сфалерит) – не более 1 % (рис. 2е). Как и в предыдущем случае, пробы не содержат самородного золота.

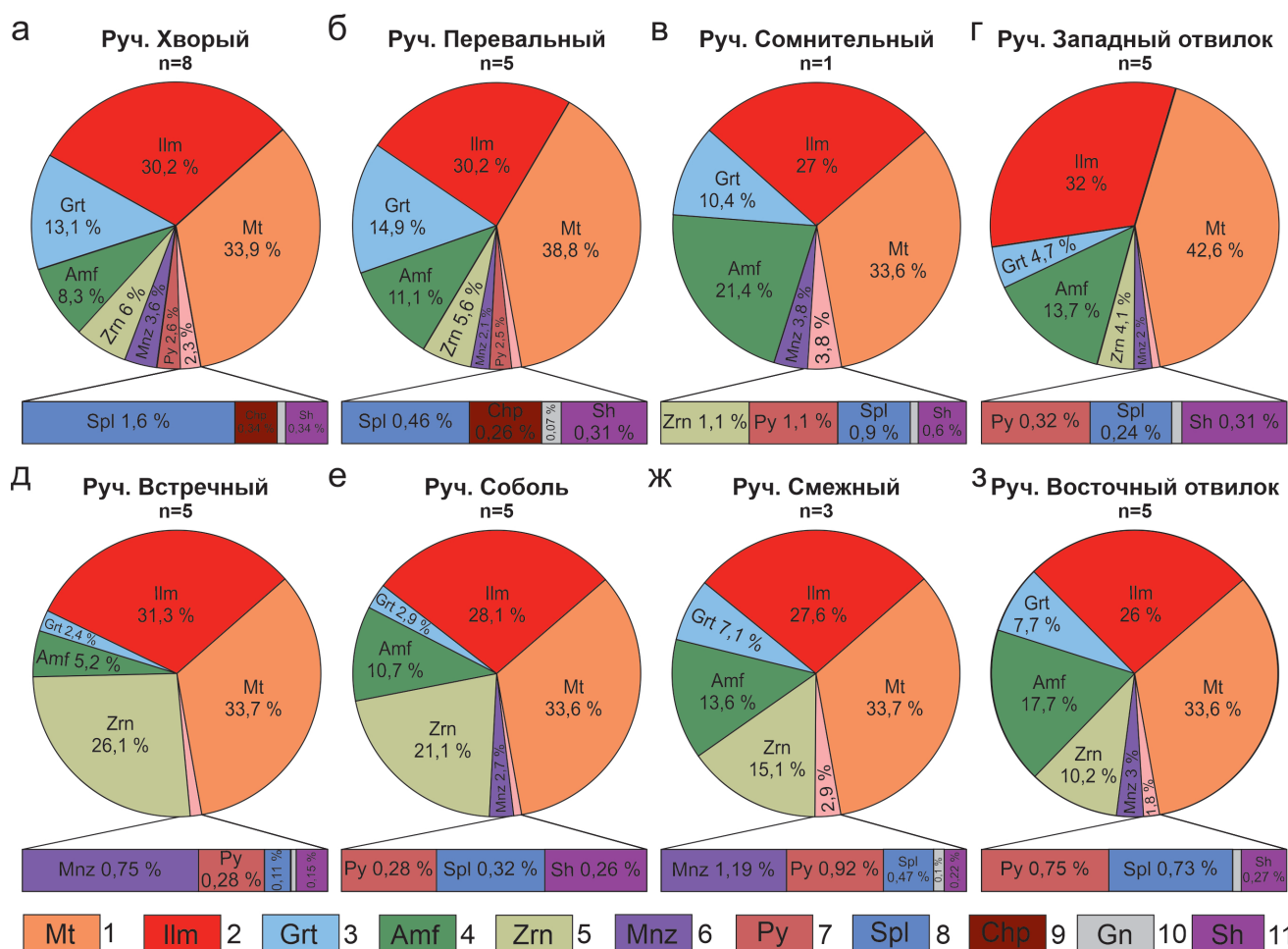


Рис. 2. Усредненный минеральный состав шлиховых проб из водотоков бассейна руч. Анмандыкан 2-ой: а-з – ручьи: а – Хворый; б – Перевальный; в – Сомнительный; г – Западный отвилок; д – Встречный; е – Соболев; ж – Смежный; з – Восточный отвилок. n – число проб.

Fig. 2. Average mineral composition of heavy concentrates from tributaries of the Anmandykan 2nd Creek: а-з – creeks: а – Khvory; б – Perevalny; в – Somnitelny; г – Zapadnyi otvilok; д – Vstrechny; е – Sobol; ж – Smezny; з – Vostochniy otvilok. n – number of samples.

Минеральный состав шлихов руч. Восточный отвилок сходен с пробами, отобранными на руч. Смежный и Соболев. Первоочередную роль играют магнетит, ильменит, амфибол, циркон и гранаты. Для проб из данного водотока характерно большее количество сульфидов: сфалерит (1%), пирит (1%), галенит (0.1%) (рис. 2з). В пробах 032/21, 037А/21 и 040/21 обнаружены единичные знаки самородного золота.

В результате корреляционного анализа результатов минералогического анализа обнаружена положительная связь самородного золота с минералами группы граната, сульфидами (сфалеритом, халькопиритом, пиритом), а также с шеллитом и отрицательная связь золота с цирконом (табл. 2).

Морфология и химический состав самородного золота и минералов группы гранатов

Самородное золото. Морфология зерен самородного золота, отобранных в руч. Хворый, очень изменчива. В основном, преобладают изометричные (рис. 3а), комковидные (рис. 3б) и удлиненные (рис. 3в) разновидности. Размер варьирует от 200 до 800 мкм (табл. 3). Зерна преимущественно слабоокатанные, их поверхность неровная, бугристая. Цвет изменяется от тускло-светло желтого с зеленым оттенком до ярко-желтого с пленками темных тонов.

В большинстве зерен самородного золота обнаружены включения (расположенные как в центральных, так и периферийных частях зерен), которые представлены кварцем, реже полевыми шпатами, пиритом, оксидами и гидроксидами железа, цирконом (рис. 4). Размер включений не превышает 20-40 мкм.

Таблица 2
Table 2
Матрица корреляций данных минерального состава шлиховых проб
Matrix of correlations of mineral composition data of heavy concentrates

	Магнетит lg	Ильменит	Гранат	Амфибол	Циркон	Монацит lg	Сфалерит lg	Пирит lg	Халькопирит lg	Галенит lg	Шеелит	Самородное золото lg
Магнетит lg	1.00											
Ильменит		1.00										
Гранат			1.00									
Амфибол				1.00								
Циркон					1.00							
Монацит lg						1.00						
Сфалерит lg							1.00					
Пирит lg								1.00				
Халькопирит lg									1.00			
Галенит lg										1.00		
Шеелит											1.00	

Примечание. Критическое значение коэффициента корреляции для 37 проб составляет 0.33 при уровне значимости 0.05 (Наследов, 2007). Значимые положительные значения корреляции выделены красным цветом. Для выборки минералов с логнормальным распределением использованы логарифмированные значения.

Note. The critical value of the correlation coefficient is 0.33 at a significance level of 0.05 (Nasledov, 2007). Significant correlation coefficients are typed in red. The logarithmic values were used for sampling of minerals with a lognormal distribution.

Химический состав зерен самородного золота неоднородный: центральные части – более низкопробные (Au 45–77 мас. %), тогда как краевые части – более высокопробные (Au 86–98 мас. %) (рис. 4, 5). В целом, по составу самородное золото относительно и весьма низкопробное (Петровская, 1973). Главной и единственной примесью является серебро (Ag до 55 мас. %). Границы между зонами четкие, иногда извилистые, внешние зоны часто пористые. Толщина кайм редко достигает 10 мкм.

Единичные зерна самородного золота, отобранные из других притоков руч. Анмандыкан 2-й (руч. Перевальный, Сомнительный, Восточный от-вилок, Западный отвилок), морфологически сходны с зернами самородного золота из руч. Хворый. Встречаются удлинённые, комковатые и лепешко-видные разновидности. Размер, в среднем, составляет 300 мкм (табл. 3). Поверхность зерен неровная, бугристая. Цвет изменяется от тускло-желтого до ярко-желтого с оттенками темных тонов (рис. 3).

Во всех зернах самородного золота отмечаются более высокопробные зоны (890–980 ‰), которые, в основном, располагаются в краевых частях. Пробность самородного золота в центральных частях варьирует от 600 до 730 ‰ (руч. Восточный отвилок) и от 630 до 770 ‰ (руч. Сомнительный и Перевальный). В целом, по составу самородное золото относительно низкопробное (Петровская, 1973). Главной и единственной примесью является серебро (до 40 мас. %) (табл. 4).

Гистограмма распределения содержания золота в центральных частях зерен самородного золота (рис. 5а) характеризуется логнормальным распределением. Модальное значение составляет Au 62.25 мас. %, медианное – Au 68.80 мас. %. В краевых частях зерен распределение содержания золота имеет бимодальный характер – наибольшее количество содержаний Au попадает в интервалы 86.8–88.69 мас. % и 96.22–98.73 мас. %, медианное значение составляет Au 96.11 мас. % (рис. 5б).

Минералы группы граната. В шлиховых пробах, отобранных на водотоках руч. Анмандыкан 2-ой, повсеместно присутствуют минералы группы граната. В отдельных пробах содержание гранатов может достигать 20 об. %, однако в пробах из правых притоков их количество в процентном соотношении заметно выше (от 4.7 об. % до 14.9 об. % в среднем) в сравнении с пробами левых притоков (от 2.4 об. % до 7.1 об. % в среднем). Гранаты розовые, размером 50–200 мкм, большинство зерен представлены фрагментами кристаллов, редко

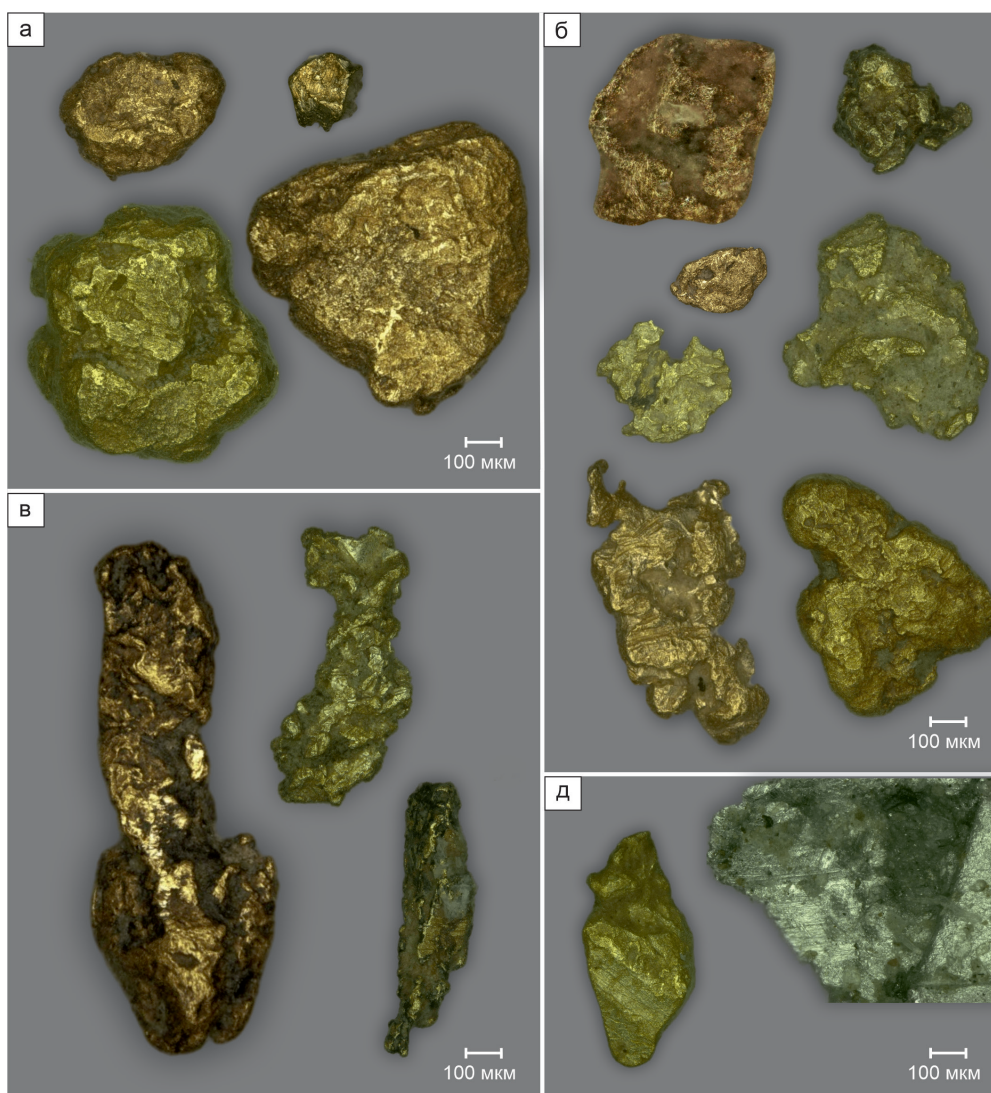


Рис. 3. Самородное золото различной морфологии из шлиховых проб, отобранных из водотоков бассейна руч. Анмандыкан 2-ой: а – изометричное средней окатанности; б – комковидное, полуокатанное; в – удлиненное; д – с отпечатками штриховки.

Fig. 3. Native gold of various morphology from heavy concentrates of tributaries of the Anmandykan 2nd Creek: а – isometric, medium-rounded; б – lumpy, poorly rounded; в – elongated; д – with hatch marks.

Гранулометрический состав самородного золота из ручьев бассейна руч. Анмандыкан 2-ой
 Granulometric composition of native gold from creeks of the basin of the Anmandykan 2nd Creek

Таблица 3

Table 3

№	Фракция, мм				
	-1.5 + 1.0	-1.0 + 0.75	-0.75 + 0.5	-0.5 + 0.25	-0.25
руч. Хворый					
I	n = 7	n = 12	n = 16	n = 17	n = 3
руч. Перевальный					
II				n = 1	n = 1
руч. Сомнительный					
III					n = 1
руч. Восточный отвилок					
IV		n = 1	n = 1		
руч. Западный отвилок					
V					n = 2

Примечание. n – количество зерен самородного золота; пустая клетка – нет знаков.

Note. n – number of native gold grains; empty cell – no gold grains.

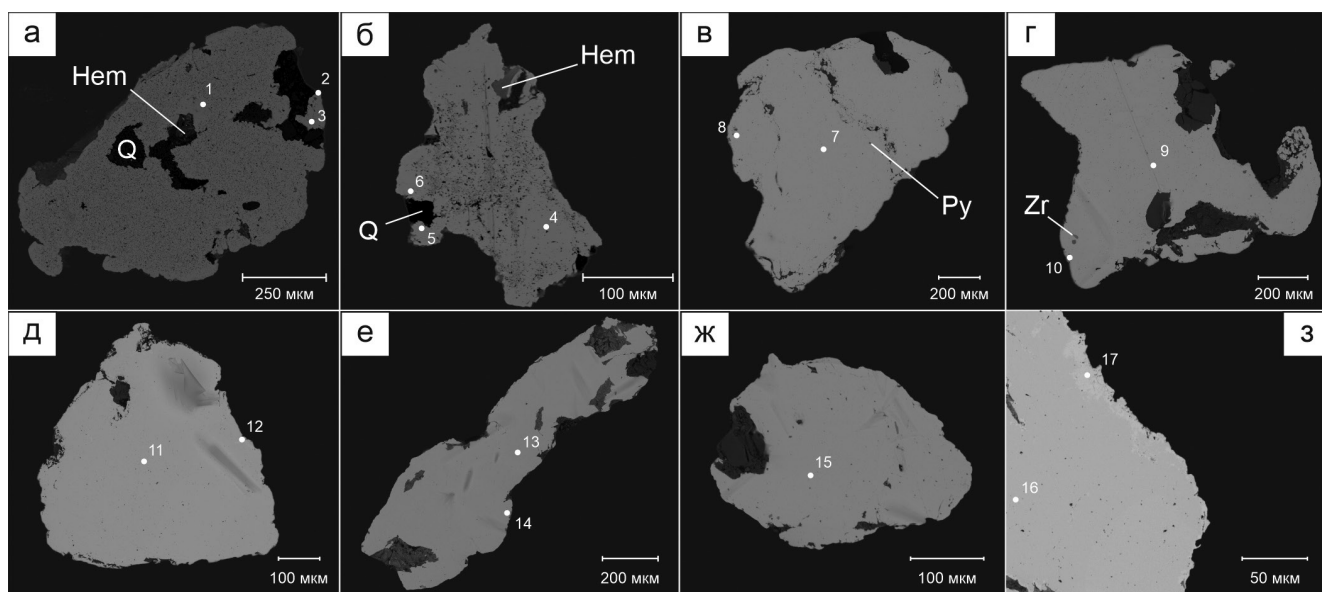


Рис. 4. СЭМ фото зерен самородного золота, отобранного из водотоков бассейна руч. Анмандыкан 2-ой: а-г – руч. Хворый; д-е – руч. Восточный отвилок; ж – руч. Перевальный; з – руч. Сомнительный.

Fig. 4. BSE images of gold grains sampled from tributaries of the Anmandykan 2nd Creek: а-г – Khvory; д-е – Vostochniy otvilok; ж – Perevalny; з – Somnitelny.

Таблица 4

Химический состав самородного золота из ручьев бассейна руч. Анмандыкан 2-ой (мас. %)

Table 4

Chemical composition of native gold from creeks of the basin of the Anmandykan 2nd Creek (wt. %)

№ п/п	№ зерна	Зона	Au	Ag	Сумма	Пробность, ‰	Формула
1	а	Центр	67.93	32.07	100	679	$Au_{53.70}Ag_{46.30}$
2		Кайма	91.99	8.01	100	920	$Au_{86.28}Ag_{13.72}$
3		Центр	67.92	32.08	100	679	$Au_{53.69}Ag_{46.31}$
4	б	Центр	58.02	41.98	100	580	$Au_{56.92}Ag_{43.08}$
5		Кайма	88.18	11.82	100	882	$Au_{80.34}Ag_{19.66}$
6		Кайма	86.18	12.89	99.07	870	$Au_{78.55}Ag_{21.45}$
7	в	Центр	74.73	25.27	100	747	$Au_{61.83}Ag_{38.17}$
8		Кайма	97.43	2.57	100	974	$Au_{95.40}Ag_{4.60}$
9	г	Центр	71.84	28.16	100	718	$Au_{58.28}Ag_{41.72}$
10		Кайма	97.62	2.38	100	976	$Au_{95.74}Ag_{4.26}$
11	д	Центр	73.10	26.90	100	731	$Au_{59.81}Ag_{40.19}$
12		Кайма	89.23	10.77	100	892	$Au_{81.94}Ag_{18.06}$
13	е	Центр	59.39	40.61	100	594	$Ag_{55.53}Au_{44.47}$
14		Кайма	97.83	2.17	100	978	$Au_{96.11}Ag_{3.89}$
15	ж	Центр	77.28	22.72	100	773	$Au_{65.07}Ag_{34.93}$
16	з	Центр	62.26	37.74	100	623	$Ag_{52.54}Au_{47.46}$
17		Кайма	92.89	7.11	100	929	$Au_{87.74}Ag_{12.26}$

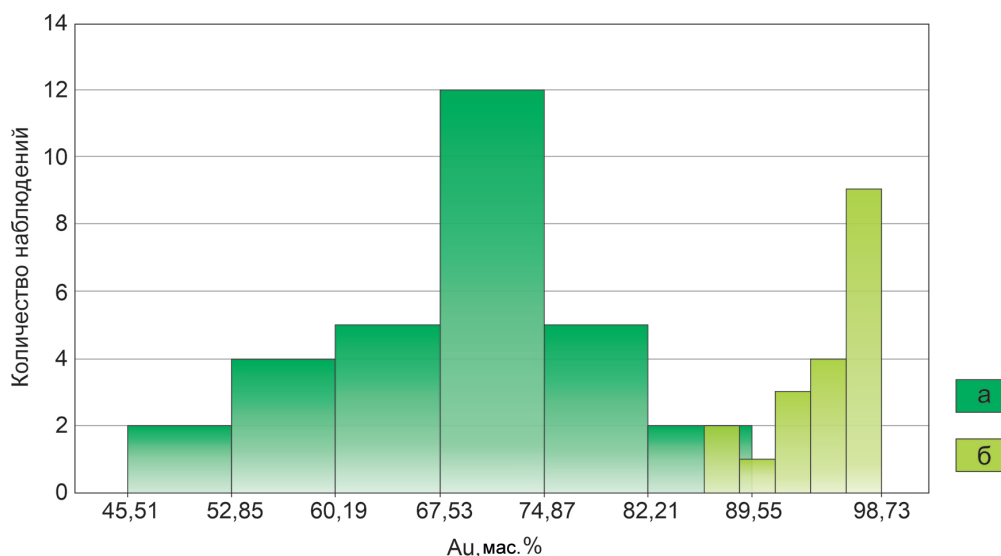


Рис. 5. Гистограмма распределения содержания самородного золота (мас. %) из бассейна руч. Анмандыкан 2-ой: а – центр зерен; б – край зерен.

Fig. 5. Histogram of distribution of Au content (wt. %) in grains from tributaries of the Anmandykan 2nd Creek: a – center of grains; б – rims of grains.

идентифицируются характерные кристаллографические очертания.

По данным СЭМ строение гранатов гомогенное. Химический состав гранатов в шлиховых пробах соответствует трем минеральным видам: алмандину, гроссуляру и андрадиту (табл. 5, рис. 6а). Для гранатов алмандинового состава в большей степени характерна примесь пиропового компонента, чем спессартинового (табл. 5, рис. 6б). Большая часть гранатов алмандинового состава была отобрана из шлиховых проб правых притоков – руч. Хворый, Перевальный и Западный отвилки (рис. 6б), но единичные зерна встречаются и в пробах остальных ручьев.

Химический состав шлиховых проб

В результате факторного анализа химического состава шлиховых проб выявлено пять факторов, три из которых дают значимый вклад в общую дисперсию. На рис. 7 представлены структуры этих факторов: над чертой приведены элементы с положительными нагрузками на фактор, под чертой – с отрицательными.

Фактор I обуславливает 38 % дисперсии для шлиховых проб. В область положительных нагрузок попадают K, Sr, As, Si, Au, Cu и Ca. В область отрицательных нагрузок попадают Fe, Bi, Pb, Rb, P, Mg, Mn и Zr. По фактору II (25 %) с небольшим значением в поле положительных нагрузок обо-

собляется Pb. В отрицательных нагрузках присутствует практически весь спектр анализируемых химических элементов: Zr, Mn, Cr, Nb, Ti, Cu, Ag, Zn, Si, P, Al, Ca, Sr, As и Au. Фактор III определяет наименьший вклад в общую дисперсию (13 %), однако представляет интерес, потому что золото в структуре данного фактора обладает значимой нагрузкой. Помимо золота отрицательные нагрузки здесь отмечаются для Al, Si, Mg, Sr, Ca, As, Rb и Fe.

Обсуждение результатов

Самородное золото присутствует не во всех водотоках: знаки отмечаются для всех правых притоков руч. Анмандыкан 2-ой и руч. Восточный отвилки. Зерна самородного золота, отобранные из разных водотоков, морфологически сходны. Зерна преимущественно слабо окатанные, с минеральными включениями в периферийных, внешних частях, присутствуют золотины с отпечатками штриховки и граней кристаллов. Цвет зерен самородного золота преимущественно желтый, иногда со светло-зеленым оттенком, при этом чем выше пробность золота, тем более ярко-желтый цвет имеют зерна. В полостях золотинок отмечаются более светлые оттенки, что может быть обусловлено недавним разрушением и вымыванием включений и минеральных сростков (рис. 3). В зернах самородного золота присутствуют тонкие, (мощностью первые микрометры) прерывистые, пористые, высоко-

Усредненный химический состав гранатов из шлиховых проб, отобранных на водотоках бассейна руч. Амандыкан 2-ой (мас. %) *Таблица 5*
 Averaged chemical composition of garnets from heavy concentrates sampled in creeks of the basin of the Ammandykan 2nd Creek (wt. %) *Table 5*

№ п/п	Концентрация элементов, мас. %							Сумма	Кристаллохимическая формула	Минеральный вид граната
	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	MnO	FeO			
1	3.33	20.71	37.09	0.95	—	5.96	31.9	99.94	(Fe _{2.1} ²⁺ Mn _{0.41} Mg _{0.4} Ca _{0.08}) _{3.0} (Al _{1.96} Fe _{0.05} ³⁺) _{2.0} (Si _{2.99} Al _{0.01}) _{3.0} O ₁₂	Альмандин
2	8.14	21.91	39.4	1.96	0.15	0.76	29.17	101.49	(Fe _{1.87} ²⁺ Mg _{0.92} Ca _{0.16} Mn _{0.05}) _{3.0} (Al _{1.97} Si _{0.01} Ti _{0.01}) _{2.0} Si _{3.0} O ₁₂	
3	3.56	20.57	38.01	6.35	—	2.19	28.8	99.48	(Fe _{1.92} ²⁺ Ca _{0.54} Mg _{0.39} Mn _{0.15}) _{3.0} (Al _{1.93} Si _{0.03} Mg _{0.03}) _{2.0} Si _{3.0} O ₁₂	
4	2.68	20.82	37.34	1.09	—	6.81	31.51	100.25	(Fe _{2.13} ²⁺ Mn _{0.47} Mg _{0.31} Ca _{0.09}) _{3.0} (Al _{1.98} Si _{0.01} Mg _{0.01}) _{2.0} Si _{3.0} O ₁₂	
5	—	15.17	37.75	32.7	0.75	2.67	10.19	99.23	(Ca _{2.75} Mn _{0.18} Fe _{0.08} ²⁺) _{3.0} (Al _{1.36} Fe _{0.59} ³⁺ Ti _{0.04}) _{2.0} (Si _{2.96} Al _{0.04}) _{3.0} O ₁₂	Гроссуляр
6	—	19.86	39.3	34.47	—	0.97	5.05	99.65	(Ca _{2.82} Fe _{0.11} ²⁺ Mn _{0.06}) _{3.0} (Al _{1.79} Fe _{0.2} ³⁺) _{2.0} Si _{3.0} O ₁₂	
7	—	11.99	37.89	34.22	—	1.24	13.32	98.66	(Ca _{2.91} Mn _{0.08} Fe _{0.01} ²⁺) _{3.0} (Al _{1.12} Fe _{0.87} ³⁺) _{2.0} Si _{3.0} O ₁₂	
8	—	20	39.84	36.8	—	0.16	3.91	100.71	(Ca _{2.97} Fe _{0.02} ²⁺ Mn _{0.01}) _{3.0} (Al _{1.77} Fe _{0.23} ³⁺) _{2.0} Si _{3.0} O ₁₂	
9	—	1.35	35.56	33.11	—	0.33	27.26	97.61	(Ca _{2.97} Mn _{0.01}) _{3.0} (Fe _{1.91} ³⁺ Al _{0.11} Mn _{0.02}) _{2.0} (Si _{2.97} Al _{0.03}) _{3.0} O ₁₂	
10	—	4.27	36.91	33.55	—	1.51	21.64	97.88	(Ca _{2.96} Mn _{0.08}) _{3.0} (Fe _{1.49} ³⁺ Al _{0.41} Si _{0.04} Mn _{0.03}) _{2.0} Si _{3.0} O ₁₂	
11	—	9.99	37.74	33.38	—	2.46	16.6	100.17	(Ca _{2.83} Mn _{0.16}) _{3.0} (Fe _{1.1} ³⁺ Al _{0.91} Mn _{0.01}) _{2.0} (Si _{2.98} Al _{0.02}) _{3.0} O ₁₂	
12	0.17	6.18	37.28	34.24	—	0.37	19.49	97.73	(Ca _{2.95} Mn _{0.03} Mg _{0.03}) _{3.0} (Fe _{1.33} ³⁺ Al _{0.59} Si _{0.04}) _{2.0} Si _{3.0} O ₁₂	

пробные, более ярко-желтые каймы. Формирование высокопробных кайм связывают с гипергенными процессами, в результате которых происходит вынос Ag из краевых частей зерен, что объясняет их пористую структуру (Петровская, 1993). Состав самородного золота также однороден, содержания Au в центральных частях зерен обладают мономодальным распределением (рис. 5а), однако это может быть обусловлено неоднородностью выборки – 89 % всех знаков отобрано из шлихов руч. Хворый. Распределение содержания Au в высокопробных каймах бимодальное, что может интерпретироваться, как поэтапное (двухэтапное) высвобождение зерен самородного золота из коренных источников в россыпи, вследствие чего зерна, попавшие в россыпь раньше, имеют более высокопробные оболочки.

Морфологические особенности, внутреннее строение и химический состав самородного золота, а также присутствие в шлихах минералов со слабой механической прочностью (галенит, сфалерит, шеелит, халькопирит, единичные знаки малахита и азурита) позволяют предполагать перенос материала на незначительное расстояние от коренных источников.

Область питания правого притока руч. Хворый находится преимущественно в терригенно-карбонатных породах, которые прорывает интрузив гранодиоритов. В пробах наблюдается большое количество минералов группы гранатов (в частности, альмандинового и гроссуляр-андрадитового рядов), а также сульфидов (пирит, сфалерит, халькопирит), зафиксированы единичные знаки малахита и азурита, которые возможно отражают присутствие гипогенных минералов меди в скарнах (Матюша, 2009ф) и кварцевых (реже кварц-карбонатных) жил и прожилков (Конченко, 2022).

Источником сноса материала для остальных правых притоков руч. Амандыкан 2-й, в целом, служат сходные породы. Ручьи Перевальный, Сомнительный и Западный отводок дренируют контакт позднепротерозойских кремнисто-доломитовых пород с щелочными полевошпатовыми гранитами. В минеральном составе это отражается в преобладании минералов группы гранатов преимущественно альмандина, реже андрадита, а также амфибола, пирита и шеелита.

Большая часть гранатов альмандинового состава была отобрана из шлиховых проб руч. Хворый и Перевальный (рис. 6б). Для гранатов альмандинового состава в большей степени

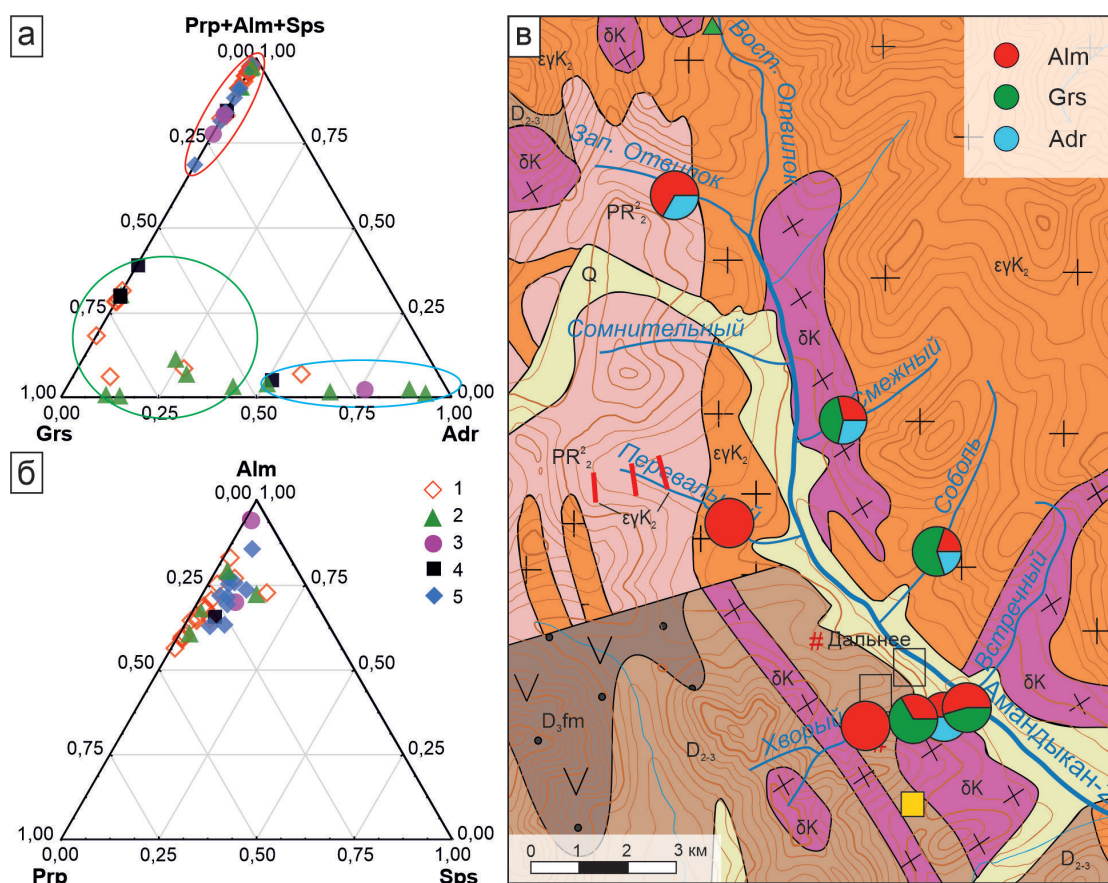


Рис. 6. Состав гранатов из шлиховых проб, отобранных из водотоков бассейна руч. Анмандыкан 2-ой: а – гранаты альмандинового (красный), гроссулярового (зеленый) и андрадитового (голубой) составов; б – состав альмандиновых гранатов из шлиховых проб, отобранных из водотоков бассейна руч. Анмандыкан 2-ой; в – картосхема значений состава гранатов в точках. Здесь и на рис. 9–11, расшифровка легенды на рисунке 1.

Ручьи: 1 – Хворый; 2 – Смежный; 3 – Западный отвилко; 4 – Соболь; 5 – Перевальны.

Fig. 6. Composition of garnets from heavy concentrates from tributaries of the Anmandykan 2nd Creek: а – garnets of almandine (red), grossular (green) and andradite (blue) composition; б – composition of almandine from heavy concentrates from tributaries of the Anmandykan 2nd Creek; в – scheme with composition of garnets in points. Here and in Figs. 9–11, for legend, see Fig. 1.

Creeks: 1 – Khvory; 2 – Smezhy; 3 – Zapadniy otvilok; 4 – Sobol; 5 – Perevalny.

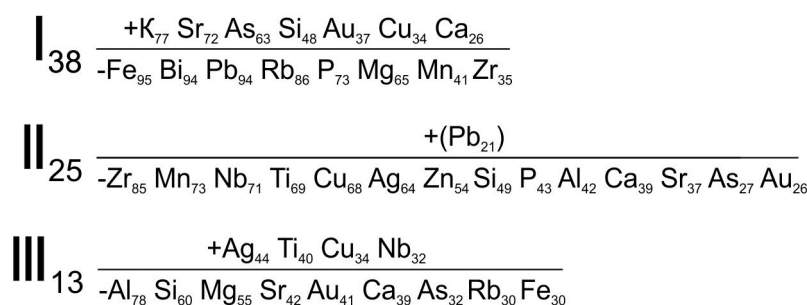


Рис. 7. Структура первых трех факторов.

Fig. 7. Structure of first three factors.

характерна примесь пиропового компонента, чем спессартинового (табл. 4, рис. 6б). Данная закономерность, в первую очередь, характерна для метаморфических гранатов, где большая роль принадле-

жит Mg-компоненту (Соболев, 1964). Так, на рис. 8 большая часть значений составов попадает в область метаморфических гранатов. Их источником могут являться терригенно-карбонатные породы

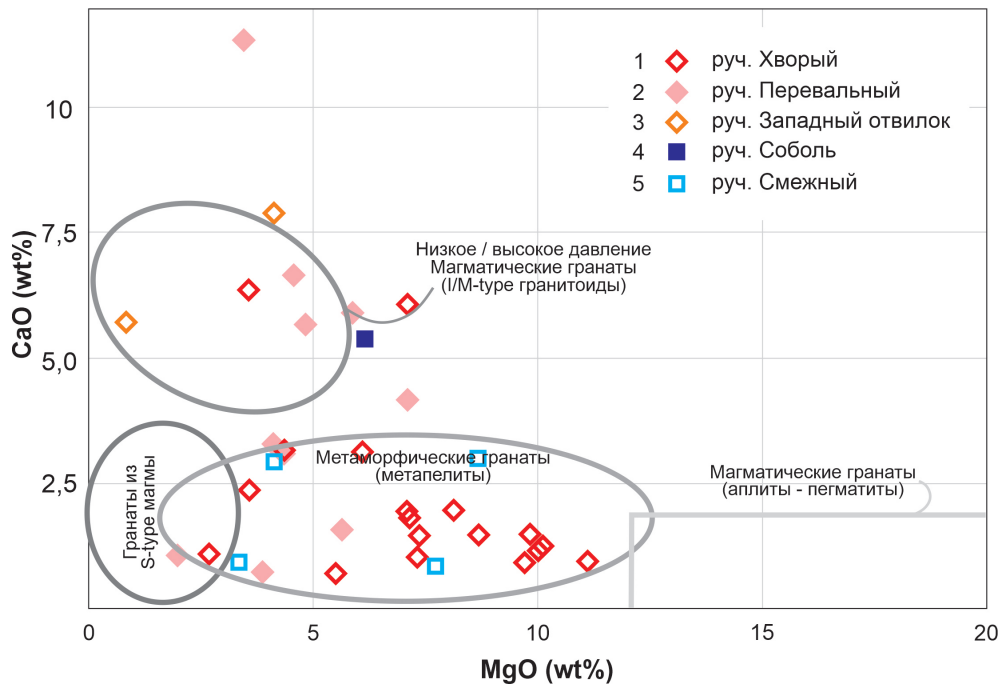


Рис. 8. Соотношение содержаний MnO и CaO в гранатах из шлиховых проб, отобранных из водотоков бассейна руч. Анмандыкан 2-ой.

Ручьи: 1 – Хворый; 2 – Перевальный; 3 – Западный отвилок; 4 – Соболев; 5 – Смежный. Области состава гранатов для различных пород взяты из (Samadi et al., 2014).

Fig. 8. MnO–CaO correlation in garnets from heavy concentrates from tributaries of the Anmandykan 2nd Creek.

Creeks: 1 – Khvory; 2 – Perevalny; 3 – Zapadnyy otvlok; 4 – Sobol; 5 – Smeznyy. Compositional fields of garnets from various rocks are from (Samadi et al., 2014).

верхнего протерозоя, которые претерпели значительный метаморфизм, а также преобразованные отложения среднего-позднего девона, которые развиты по бортам правых притоков руч. Анмандыкан 2-й. Часть составов гранатов попадает в поле магматического генезиса; их источником, скорее всего, являются интрузии гранитоидного состава.

Что касается гроссуляра и андрадита, то они относятся к кальциевым гранатам, которые образуются, в основном, при контактово-метасоматических процессах (Соболев, 1964), например, в скарнах, которые также широко распространены по бортам правых притоков.

Все левые притоки руч. Анмандыкан 2-й дренируют породы щелочно-гранитоидных интрузий. Для проб из руч. Встречный, Смежный, Соболев и Восточный отвилок характерны повышенное содержание циркона и низкие содержания сульфидов и разнообразных гранатов – примерно в равных пропорциях встречаются альмандин, гроссуляр и андрадит. Данный факт может объясняться тем, что в формировании россыпей участвовали и другие локально распространенные породы, которые не

были закартированы в ходе геологосъемочных работ (Матюша, 2009ф; Казакова и др., 2013).

Таким образом, химический состав гранатов подчеркивает, что в породах бортов водотоков широко проявлены различные гидротермально-контактовые процессы, а также процессы регионального метаморфизма. Это может косвенно указывать на перспективы обнаружения рудных залежей, в том числе коренных источников золота на исследуемой территории.

Анализ главных компонент позволил установить три весомых фактора. Фактор I отчетливо разделяет правые и левые водотоки на две группы (рис. 9а, б). В поле положительных нагрузок попадают, в основном, правые притоки руч. Анмандыкан 2-й. Эта область отражает петрогенные элементы, которые отвечают за такие породообразующие минералы, как кварц, полевые шпаты и гранаты. Железо и магний могут входить в состав магнетита и амфиболов, свинец является основным элементом в галените, цирконий занимает центральное место в составе циркона, а фосфор является ключевым химическим элементом в составе монацита и апатита.

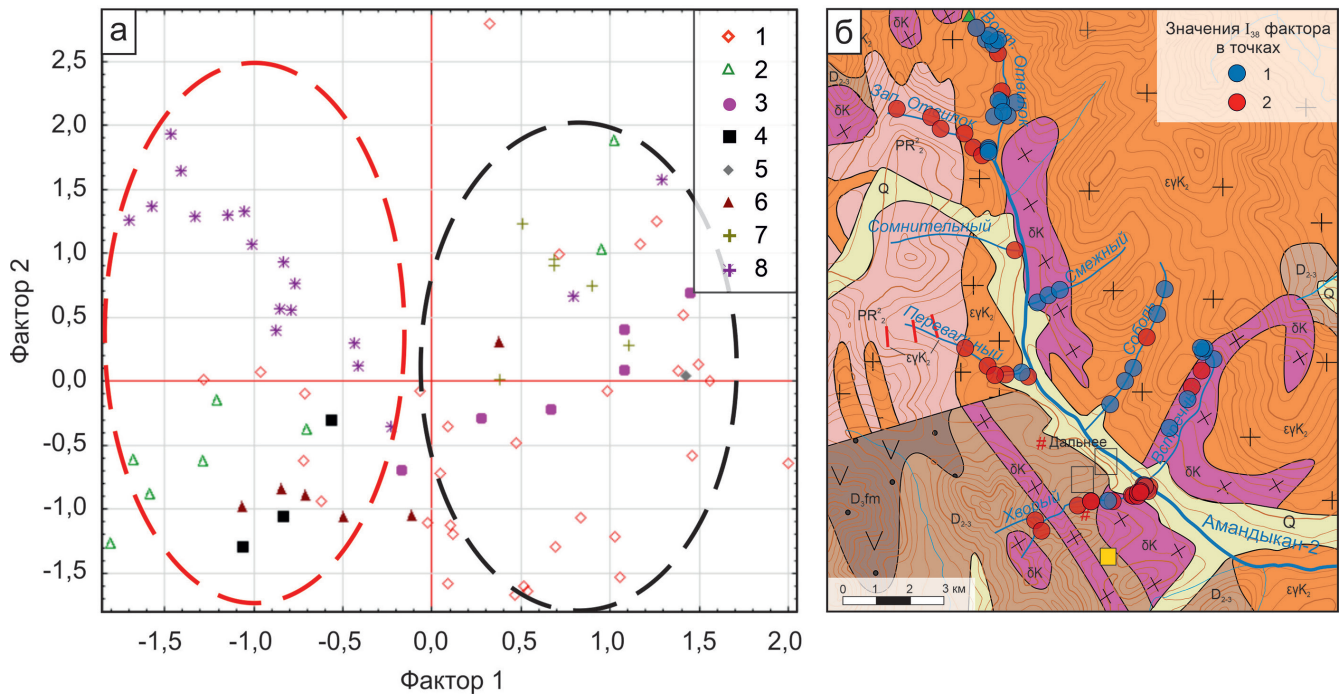


Рис. 9. а – диаграмма значений факторов I и II в точках: черная линия – положительные нагрузки фактора I (K, Sr, As, Si, Au, Cu, Ca), красная линия – отрицательные нагрузки фактора I (Fe, Bi, Pb, P, Mg, Mn, Zr); б – картосхема значений фактора I в точках отбора шлиховых проб (здесь и на рис. 10 и 11): отрицательные (1) и положительные (2) значения.

Здесь и на рис. 10 и 11, ручьи: 1 – Хворый; 2 – Встречный; 3 – Перевальный; 4 – Смежный; 5 – Сомнительный; 6 – Соболь; 7 – Западный отвилек; 8 – Восточный отвилек

Fig. 9. a – diagram of values of factors I and II in the points: black line – positive values of factor I (K, Sr, As, Si, Au, Cu, Ca), red line – negative values of factor I (Fe, Bi, Pb, P, Mg, Mn, Zr); б – schematic map of values of factor I in sampling points (here and in Figs. 10, 11): negative (1) and positive (2) values.

Creeks: 1 – Khvory; 2 – Vstrechny; 3 – Perevalny; 4 – Smezhy. 5 – Somnitelny; 6 – Sobol; 7 – Zapadny otvilok; 8 – Vostochniy otvilok.

Повышенное содержание кварца и полевых шпатов связано с вмещающими терригенными породами, которые представлены различными песчаниками, конгломератами, алевролитами и кварцито-песчаниками. Мышьяк, Au и Cu отражают рудную нагрузку, соответствуют арсенопириту, халькопириту и самородному золоту. Данная ассоциация, предположительно, связана с кварцевыми жилами и прожилками, которые широко распространены на правом берегу руч. Амандыкан 2-й (Конченко, 2022; Матюша, 2009ф).

В факторе II Pb, который в шлихах соответствует галениту, противопоставляется большинству химических элементов, которые отражают почти все минералы, зафиксированные в шлиховых пробах. Интерес представляет ассоциация рудных элементов: Cu, Ag, Zn и Au, которым в шлихах отвечают сульфиды (халькопирит, сфалерит), а также самородное золото. По положительным значениям фактора II (рис. 10) в точках обособляются руч. Западный отвилек и верховья руч. Восточный отвилек, в которых предшественни-

ками была обнаружена точка свинцовой минерализации (Матюша, 2009ф). Структура фактора II свидетельствует об отсутствии связи между свинцовой и золоторудной минерализацией.

Фактор III (рис. 11а, б), предположительно, демонстрирует взаимосвязь гранатов с самородным золотом и арсенопиритом. Эту зависимость подтверждают результаты статистического анализа минерального состава шлиховых проб, где между самородным золотом и гранатами наблюдаются наиболее высокие значения коэффициента корреляции. Помимо этого, наибольшие нагрузки в структуре фактора имеют Al, Si и Ca. Данные элементы могут быть связаны с присутствием в шлихах гроссуляра – характерного маркера контактово-метасоматических процессов, в частности, скарнирования. Присутствие золота в данном факторе может указывать на различный коренной источник золоторудной минерализации по отношению к первому фактору, которым в этом случае, вероятно, являются скарны с золоторудной минерализацией.

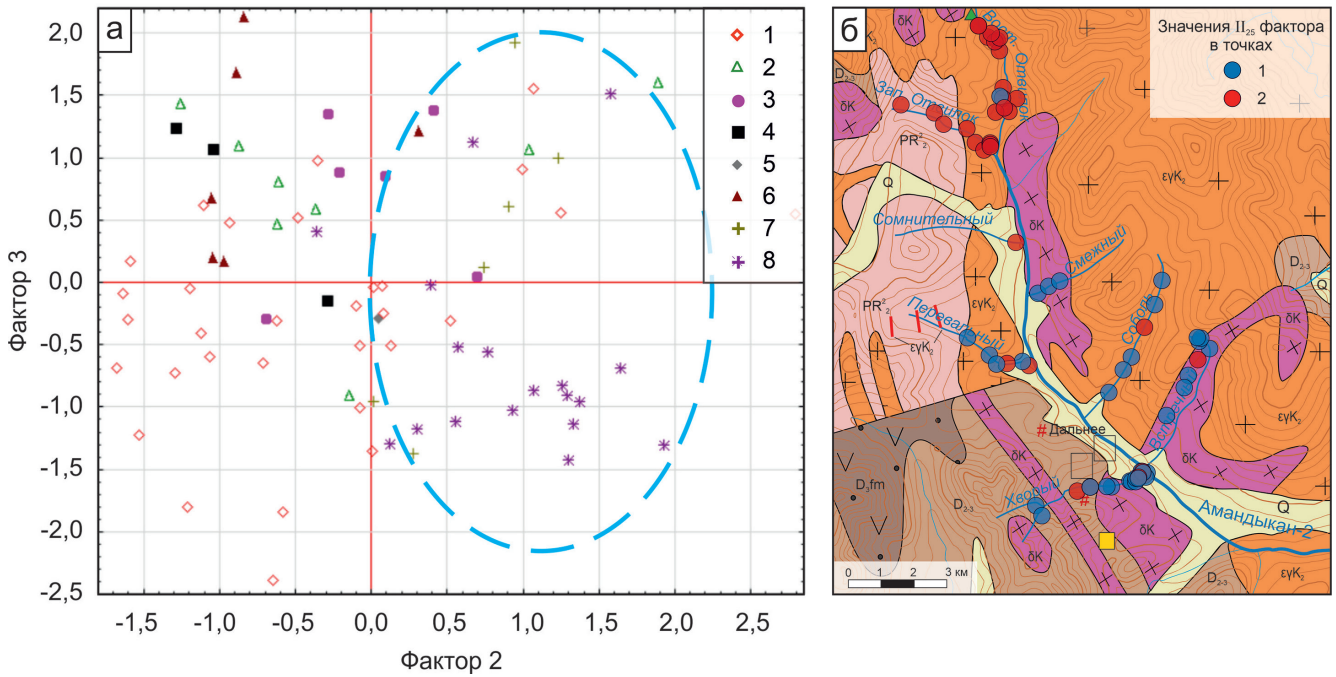


Рис. 10. а – диаграмма значений факторов II и III: голубая линия – положительные нагрузки фактора II (Pb); б – картосхема значений фактора II в точках отбора шлиховых проб.
 Fig. 10. а – diagram of values of factors II and III in the points: blue line – positive values of factor II (Pb); б – schematic map of values of factor II in sampling points.

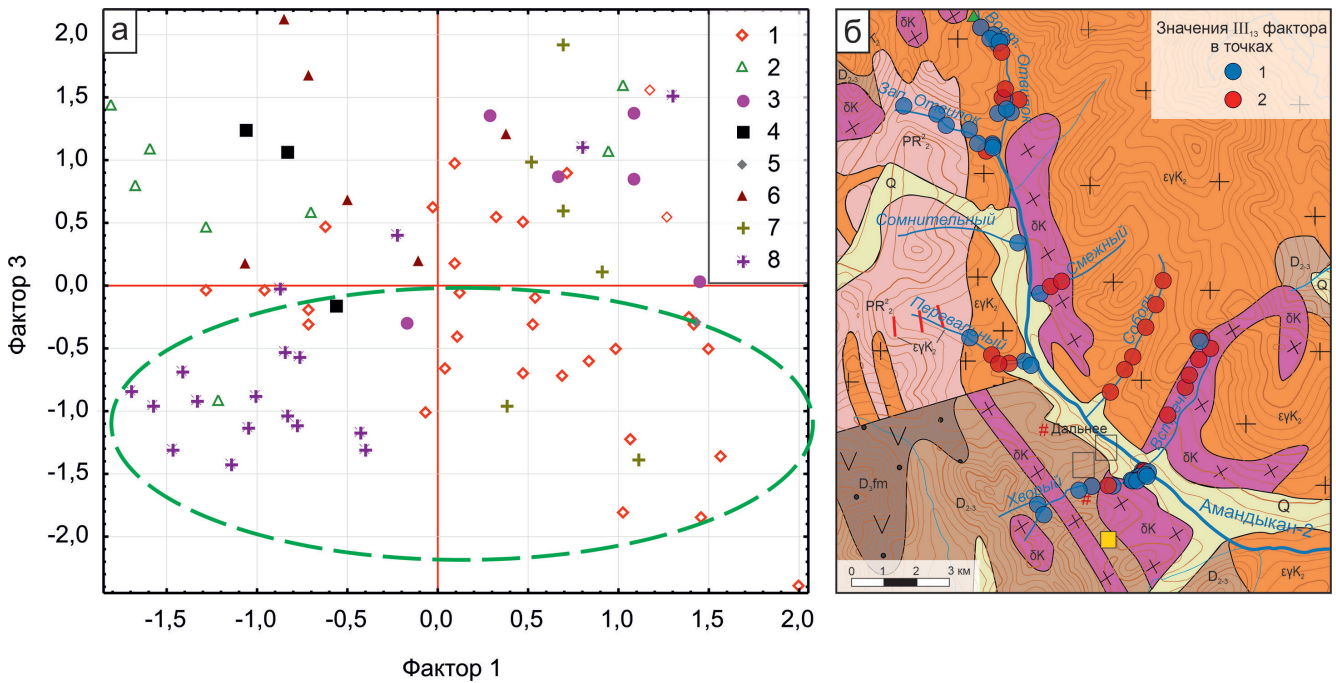


Рис. 11. а – диаграмма значений факторов I и III: зеленая линия – отрицательные нагрузки фактора III (Al, Si, Mg, Sr, Au, Ca, As, Rb, Fe); б – картосхема значений фактора III в точках отбора шлиховых проб.
 Fig. 11. а – diagram of values of factors I and III in the points: green line – negative values of factor III (Al, Si, Mg, Sr, Au, Ca, As, Rb, Fe); б – schematic map of values of factor III in sampling points.

Таким образом, положительные значения в точках фактора I и отрицательные значения фактора III выделяют территорию правых водотоков как перспективную на золоторудную минерализацию, что согласуется с результатами минералогического анализа шлихов (рис. 1). Учитывая то, что фактор I связывается с золото-кварц-сульфидным типом, а фактор III – со скарновым, можно говорить о пространственной совмещенности двух рудообразующих процессов, проявленных в исследуемом районе работ.

Заключение

Сопоставление результатов минералогического и геохимического анализов выявило их хорошую сходимость для исследуемой территории. Результаты этих анализов согласуются с геологическим строением района, указывают на сходные источники сноса материала в водотоки, а также выделяют две пространственно совмещенные золоторудные россыпные ассоциации, в первом случае – самородное золото и халькопирит, во втором – самородное золото, шеелит и минералы группы граната, в первую очередь, гроссулярового состава. Коренными источниками данных ассоциаций могут выступать, как минимум, два генетических типа золотоносной минерализации. Первый – золото-кварц-сульфидный тип, обусловленный гидротермальными процессами с образованием кварцевых (реже кварц-карбонатных) жил и прожилков, которые широко распространены на правом берегу р. Анмандыкан 2-й. Второй – скарновый тип золото-полиметаллической формации, характерный для контактово-метасоматических процессов, формирование которых в данном районе связано с внедрением позднемеловых интрузий гранитоидного состава в терригенные и терригенно-карбонатные породы верхнего девона и позднего протерозоя.

Таким образом, проведение геохимического анализа с использованием портативного спектрометра на первом этапе за счет своей экспрессности и высокой сходимости с минералогическим анализом в будущем позволит сократить трудовые и финансовые затраты в процессе проведения геологоразведочных работ по поиску коренного золотого оруденения в данном районе.

Авторы выражают благодарность аналитику РЦ СПбГУ «Геомодель», г. Санкт-Петербург Н.С. Власенко, рецензенту и редакции журнала за ценные замечания и советы. Авторы также благо-

даряют компанию ООО «ГПП «Марекан» за предоставленный материал для исследований. Работа выполнена в рамках бюджетной темы ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН № 122062100023-5.

Литература

Гринберг Г.А. (1976) Вулканические и интрузивные формации Приохотья. Новосибирск, Наука, 188 с.

Зуев М.В. (1985ф) Отчет о поисковых работах на золото в восточной части Охотского района за 1981–1985 гг. (Кавинская партия) в 2-х томах. Том № II. Текстовые приложения. Охотск.

Казакова Г.Г., Васькин А.Ф., Кропачев А.П., Щербаков 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, ВСЕГЕИ, 400 с.

Конченко А.В. (2022) Проект поисковых работ на коренное золото на перспективной площади Анмандыкан-2 (Хабаровский край). Дипломная работа. Санкт-Петербург, СПбГУ.

Мягуща И.П. (2009ф) Информационный отчет по незавершенному геологическому заданию «О результатах поисковых и оценочных работ на рудное золото в бассейне реки Сибегга, правого притока реки Ульбея на 2006–2009 гг. (объект Сибегга)».

Наследов А.Д. (2007) Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных. Учебное пособие. 3-е изд., стереотип. СПб, Речь, 392 с.

Натапов Л.М., Сурмилова Е.П. (1999) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист Р-54, 55 – Оймякон, О-55. Объяснительная записка. СПб, ВСЕГЕИ, 231 с.

Петровская Н.В. (1993) Золотые самородки. М., Наука, 191 с.

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

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

Солонин С.И. (2014) Метод гистограмм. Учебное электронное текстовое издание. Екатеринбург, УрФУ, 97 с.

Шпикерман В.И., Полуботко И.В., Васькин А.Ф., Петухов В.В. и др. (2016) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская Лист Р-55 – Сусуман. Объяснительная записка. СПб, Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 522 с.

Samadi R., Miller N.R., Mirnejad H., Harris C., Kawabata H., Shirdashtzadeh N. (2014) Origin of garnet

in aplite and pegmatite from Khajeh Morad in northeastern Iran: A major, trace element, and oxygen isotope approach. *Lithos*, **208–209**, 378–392.

References

Grinberg G.A. (1976) [Volcanic and intrusive complexes of the Okhotsk region]. Novosibirsk, Nauka, 188 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 on a scale of 1 : 1 000 000 (third generation). Verkhoyansk-Kolyma series. Sheet P-54 Oymyakon. Explanatory note]. St. Petersburg, VSEGEI, 400 p. (in Russian)

Konchenko A.V. (2022) [Project of prospecting for primary gold in the Anmandykan-2 promising area (Khabarovsk region)]. Master's thesis. St. Petersburg, SPbGU (in Russian)

Matyusha I.P. (2009) [Unpublished information report on the incomplete geological assignment «The results of prospecting and evaluation work for ore gold in the Sibega River basin, the right tributary of the Ulbey River for 2006–2009 (Sibega object)»]. (in Russian)

Nasledov A.D. (2007) [Mathematical methods of psychological research. Data analysis and interpretation]. Study guide, 3rd ed., stereotype. St. Petersburg, Rech, 392 p. (in Russian)

Natapov L.M., Surmilova E.P. (1999) [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1 : 1 000 000 (new series). Sheet R-54, 55 – Oymyakon, O-55. Explanatory note]. St. Petersburg, VSEGEI, 231 pp. (in Russian)

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

Petrovskaya N.V. (1993) [Gold nuggets]. Moscow, Nauka, 191 p. (in Russian)

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

Shpikerman V.I., Polubotko I.V., Vaskin A.F., Petukhov V.V. et al. (2016) [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1 : 1 000 000 (third generation). Verkhoyansk-Kolyma series Sheet R-55 – Susuman. Explanatory note]. St. Petersburg, VSEGEI, 522 p. (in Russian)

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

Solonin S.I. (2014) [The histogram method. Educational electronic text edition]. Yekaterinburg, UrFU, 97 p. (in Russian)

Zuev M.V. (1985) [Report on prospecting for gold in the eastern part of the Okhotsk region for 1981–1985 (Kavinskaya Party) in 2 volumes. Vol. II. Text appendices]. Okhotsk. (in Russian)