———— МИНЕРАЛОГИЯ ———

УДК 549.01; 549.02

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МИНЕРАЛОВ ЗОЛОТА ИЗ ГАББРОВЫХ МАССИВОВ ПЛАТИНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА, РОССИЯ

© 2022 г. С. Ю. Степанов¹, Р. С. Паламарчук^{1,*}, член-корреспондент РАН В. Н. Пучков¹, С. В. Петров²

Поступило 08.08.2022 г. После доработки 08.09.2022 г. Принято к публикации 09.09.2022 г.

В работе приводится сравнительная характеристика минералов золота из габбро Платиноносного пояса Урала на основании авторских (Кумбинский массив, массив Серебрянский Камень, Волковское месторождение) и литературных данных (Волковское месторождение, Баронское рудопроявление). Установлено, что для изученных ассоциаций отмечается преобладание самородного золота, для которого характерны следующие разновидности: самородное золото без каких-либо примесей, медистое золото и медисто-палладистое золото. В рудах Кумбинского массива, впервые для Платиноносного пояса Урала и России, обнаружена неназванная фаза с составом, близким к стехиометрии Cu₂PdAu. Для всех выявленных минералов золота были оценены условия их формирования.

Ключевые слова: Платиноносный Пояс Урала, габбро, медь, благородные металлы, самородное золото, минералы золота

DOI: 10.31857/S2686739722601612

введение

Платиноносный пояс Урала (ППУ) получил свою известность благодаря отработке крупных и уникальных платиновых россыпей, а также многочисленным исследованиям, посвященным коренному платиновому оруденению в дунитах ([5, 7] и др.). Тем не менее преобладающим типом пород в ППУ являются габбро различного состава, образующие крупные интрузивы, часто пространственно сближенные с ультраосновными клинопироксенит-дунитовыми телами [8].

В последнее время существенно возрос интерес к габбро, ассоциирующих с массивами Урало-Аляскинского типа как крупным источникам меди и благородных металлов. Большая часть таких исследований сосредоточена в провинции Британская Колумбия, где описано медно-благороднометалльное оруденение в габбро и пироксенитах ([18] и др.). При этом степень изученности закономерностей проявления благороднометалльной минерализации в габбро ППУ остается крайне ных металлов установлено для многих габбровых массивов ППУ ([6] и др.), на данный момент минералы золота и других благородных металлов были найдены только в рудах Волковского месторождения [11] и Баронского рудопроявления [1], связанного с Волковским массивом. В результате систематических исследовательских работ минералы благородных металлов были

низкой. Хотя повышенное содержание благород-

ских работ минералы благородных металлов были впервые обнаружены в сульфидных медных рудах и минерализованных зонах еще двух крупных габбровых массивов, входящих в структуру ППУ – массив Серебрянский Камень [10] и Кумбинский массив, для которого промышленно значимые концентрации меди и благородных металлов выявлены впервые.

В данной работе основное внимание уделено самородному золоту из габбро Кумбинского массива, массива Серебрянский Камень, а также Волковского месторождения (авторские данные) и Баронского рудопроявления (литературные данные). Цель данного обобщения — на основании впервые полученных результатов провести сравнительную характеристику состава самородного золота из габбровых массивов ППУ, что, в том числе, дополнит ранее существующие обзоры минералов золота ([13] и др.).

¹Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Российской академии наук, Екатеринбург, Россия ²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

^{*}*E*-mail: palamarchuk22@yandex.ru

СТЕПАНОВ и др.



Рис. 1. Положение изучаемых габбровых массивов в структуре ППУ [15].

ОТБОР ПРОБ И МЕТОДИКА

Изучаемые габбровые массивы являются частью ППУ (рис. 1) и расположены на Северном (Серебрянский Камень, Кумбинский массив) и Среднем Урале (Волковский габбро-диоритовый массив). Массив Серебрянский Камень входит в состав Кытлымского плутона и сложен преимущественно амфиболовыми габбро, где благороднометалльная минерализация ассоциирует с борнит-халькопиритовой вкрапленностью [10]. Кумбинский массив – это интрузивное тело, со сложным полифазным строением, сформированное вследствие различных актов внедрения [13]. В этом массиве пробы были отобраны из оливиновых габбро г. Большая Брусковая и амфиболовых габбро г. Золотой Камень. Установлено, что благороднометалльная минерализация здесь связана с борнит-халькопиритовой и борнит-дигенитовой вкрапленностью. В пределах г. Золотой Камень развита также наложенная пирит-халькопиритовая минерализация.

Основным объектом исследования Волковского месторождения стали пробы медно-титаномагнетитовых руд, залегающих в такситовых оливинсодержащих габбро. В работе были использованы результаты предшественников, полученные в ходе изучения медно-титаномагнетитовых и апатит-титаномагнетитовых руд, из оливиновых габбро [11]. С целью наиболее широкого охвата проявлений медно-благороднометалльной минерализации в массивах ППУ для сравнительной характеристики были использованы ранее полученные вещественные характеристики руд Баронского рудопроявления [1]. Характеристика благороднометалльной минерализации в сульфидных медных рудах в габбро была проведена на основании изучения задирковых проб массой 20—50 кг, отобранных из зон с видимой вкрапленностью сульфидов. После дробления до крупности 1.0 мм и последующего гравитационного обогащения из проб были получены концентраты рудных минералов, в том числе концентраты с самородным золотом.

Определение морфологических особенностей и химического состава самородного золота было произведено при помощи сканирующего электронного микроскопа JSM-6390LV ("JEOL") с энергодисперсионным спектрометром (ЦКП "Геоаналитик", ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург, аналитики – Л.В. Леонова, Н.С. Чебыкин), состав минералов заверен при помощи электроннозондового микроанализатора "Cameca" SX100 (ЦКП "Геоаналитик", ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург, аналитик – И.А. Готтман). Изученные образцы преимущественно представлены самородным золотом с примесями Ag, Cu и Pd в разных соотношениях. Точная диагностика минеральных видов в системе Au-Pd-Cu требует проведения систематических кристаллографических инструментальных исследований, что будет обязательно произведено в дальнейшем. Чтобы избежать неопределенности при диагностике отдельных минеральных видов, а также интерметаллических соелинений и сплавов в рамках исследования системы Au(Ag)-Pd-Cu, в статье используется следующая номенклатура: самородное золото (Au-Ag-сплав), медистое золото (золото, содержащее примеси Си) и медисто-палладистое золото (золото с примесью Cu и Pd).



Рис. 2. СЭМ-фото самородного золота в режиме BSE из габбро Кумбинского массива (а–г) и массива Серебрянский Камень (д–е). Au I – самородное золото без примеси Pd, Кt – котульскит, Au II – медисто-палладистое золото, Pl – плагиоклаз, Cpr – куприт, Bn – борнит.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Самородное золото из габбро Кумбинского массива образует обособленные зерна размером до 150 мкм (рис. 2 а), а также срастается с породообразующими силикатами, халькопиритом, борнитом, сульфидами и теллуридами палладия и платины. В большинстве своем зерна золота гомогенны, иногда выделяются крупные зоны с большим содержанием примесных компонентов (рис. 2 г). Состав золота изменяется в очень широких пределах (рис. 3 а), отличаясь как по содержанию Ад (от 0.6 до 61 мас. %), так и концентрации Си (до 5.8 мас. %). В то же время около половины проанализированных зерен золота не содержит примеси Си. Кроме самородного золота с примесью Си, в изученной минеральной ассоциации были обнаружены разнообразные по составу Au-Cu-Pd-сплавы (табл. 1). Среди них распространено палладистое золото с содержанием Рd до 5 мас. % и примесью Cu 2-3 мас. %. Были обнаружены неназванные фазы с формулами Cu_{0.54}Au_{0.29}Pd_{0.17}; Cu_{0.45}Pd_{0.42}Au_{0.07} и другими вариациями состава. Такие сплавы приближаются к стехиометрии Cu(Pd,Au) или Cu₂PdAu с переменным содержанием палладия от 1.3 до 49.3 мас. %, при этом образуя почти непрерывный ряд с относительно постоянным содержанием Си (рис. 3 б) и попадая в область твердого раствора в ряду тетрааурикуприд (AuCu)-скаергаардит (PdCu). Еще одним отличием этих сплавов является полное отсутствие примеси Ag, в то время как в медистопалладистом золоте содержание серебра изменяется в достаточно широких пределах.

Самородное золото в габбро Серебрянского Камня встречается в виде включений в палладиевых минералах или в срастаниях с ними. Реже этот минерал образует самостоятельные, преимущественно гомогенные зерна [10]. Химический состав самородного золота весьма изменчив (рис. 3). Среди всех разновидностей этого минерала по химическому составу установлено три типа - самородное золото без примеси Си, медистое золото, в котором содержание Си может достигать 9.4 мас. %, а также медисто-палладистое золото. Медисто-палладистое золото в габбро Серебрянского Камня встречается очень редко (было обнаружено только два зерна). Концентрация Pd в нем может достигать 12.6 мас. %, а Си – 4.7 мас. %. Самородное золото встречается в ассоциации с породообразующими силикатами и сульфидами меди. тогда как медисто-палладистое золото образует срастания с сульфидами, теллуридами палладия.

Самородное золото в медных рудах Волковского месторождения распространено в виде включений размером до 15 мкм в халькопирите и борните или в виде небольших прожилков в сульфидах [11]. Химический состав этого минерала из руд Волковского месторождения отличается низкими содержаниями палладия (до 0.3 мас. %), несмотря на его парагенетическое сонахождение с меренскиитом — наиболее распространенным минералом палладия в сульфидных медных рудах



Рис. 3. Состав самородного золота и Au–Ag–Cu–Pd-сплавов в атомных процентах (а, б) и в массовых процентах на фоне поверхностей ликвидуса систем сплавов Au–Ag–Cu (в) и Au–Pd–Cu (г) [3]. Звездами отмечены положения интерметаллических соединений – тетрааурикуприда (AuCu) и скаергаардита (PdCu). Зерна отобраны из габбро: 1 - Кумбинского массива, 2 - массива Серебрянский Камень, 3 - Волковского месторождения (авторские данные), 4 - Волковского месторождения [11], 5 - Баронского рудопроявления [1].

месторождения [10]. В титаномагнетитовых рудах золото преобладает над остальными минералами благородных металлов и образует две генерации – включения в магнетите чистого самородного золота с пробностью 1000‰ (размер до 10 мкм) и мелкие зерна самородного золота в ассоциации с кейтконнитом (Pd_{3-x}Te) и хлоритом с пробностью 850–860‰.

Для Баронского рудопроявления отмечаются две устойчивые ассоциации минералов благородных металлов — сульфидная и арсено-антимонидная [1]. Среди минералов золота преобладает медисто-палладистое золото, которое встречается в обеих ассоциациях. В большинстве случаев оно образует мелкие, гомогенные включения в палладиевых минералах и срастается с ними [2]. Встречаются также самостоятельные зерна золота с более низким содержанием Pd, обычно располагающиеся в силикатной матрице. Самородное золото без примесей ассоциирует с низкотемпературными силикатами — хлоритом и гранатом [2]. Встречаются также отдельные зерна палладисто-медного высокопробного золота.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Концентрация и характер распределения благородных металлов в габбро массивов Урало-Аляскинского типа ([18] и др.) позволяют сделать заключение, что существенную часть ассоциации

N⁰	Cu	Ag	Pd	Au	Сумма	Формула
1	—	12.37	_	87.46	99.83	Au _{79.47} Ag _{20.53}
2	0.95	11.01	—	87.29	99.25	Au _{79.11} Ag _{18.22} Cu _{2.67}
3	—	0.69	—	99.18	99.87	Au _{98.75} Ag _{1.25}
4	0.46	61.71	—	37.64	99.81	$Ag_{74.26}Au_{24.80}Cu_{0.94}$
5*	33.1	—	45.32	19.33	99.96	Cu _{48.03} Pd _{39.27} Au _{9.05} Fe _{3.65}
6	29.21	—	10.11	60.4	99.72	Cu _{53.37} Au _{35.60} Pd _{11.03}
7	25.23	—	1.38	72.1	98.71	Cu _{51.16} Au _{47.17} Pd _{1.67}
8	0.86	13.94	—	85.31	100.11	Au _{75.21} Ag _{22.44} Cu _{2.35}
9	2.47	28.32	—	69.15	99.94	Au _{53.81} Ag _{40.24} Cu _{5.96}
10	1.82	6.07	—	92.10	99.99	Au _{84.63} Ag _{10.18} Cu _{5.18}
11	9.45	8.29	—	80.68	98.42	Au _{64.49} Cu _{23.41} Ag _{12.10}
12		27.89		72.03	99.92	Au _{58.58} Ag _{41.42}
13	7.19	1.85	11.62	78.58	99.24	Au _{62.49} Cu _{17.72} Pd _{17.11} Ag _{2.69}

Таблица 1. Состав различных типов золота из габбро Кумбинского массива (1–7), Волковского месторождения (8–9) и массива Серебрянский Камень (10–13), мас. %

Примечание. * – содержание Fe 2.21 мас. %. Формулы рассчитаны на 100%.

минералов благородных металлов должны составлять минералы золота. Характер распределения благородных металлов в габбро ППУ [4, 6, 14] также указывает на существенную роль минералов золота среди ассоциации минералов благородных металлов. Эта закономерность была подтверждена ранее в результате минералогических исследований руд Волковского месторождения и Баронского рудопроявления. На основании новых результатов широкое распространение самородного золота в ассоциации минералов благородных металлов установлено для габбро Кумбинского массива и массива Серебрянский Камень. Эти факты подтверждают предположение о широком распространении самородного золота в борнит-халькопиритовых рудах в габбро дунит-клинопироксенит-габбровой формации, что позволяет на новом уровне оценить металлогеническую нагрузку этих островодужных плутонических образований, имеющих широкое распространение как в пределах Уральского региона, так и во многих других складчатых системах [20].

На основании закономерностей химического состава можно выделить несколько типов самородного золота — без примеси Сu, медистое золото и медисто-палладистое золото. Другие элементы, такие как Fe, Te, Hg могут встречаться в качестве примесей с содержанием не более 1—2 мас. % и имеют крайне ограниченное распространение. Среди выделенных типов самородного золота обычно преобладает медистое золото. Наибольшие концентрации Cu характерны для золота из габбро Серебрянского Камня (см. рис. 3). Самородное золото без примеси Cu наиболее характерно для Кумбинского массива. При этом наибольшей пробностью характеризуются включения золота в магнетите, обнаруженные в рудах Волковского месторождения [11].

Кроме Си, в самородном золоте в качестве изоморфной примеси часто встречается Pd, образуя медисто-палладистое золото. Для большинства изучаемых нами ассоциаций такие минералы имеют широкое распространение. Исключением являются лишь руды Волковского месторождения, где концентрация примесного Pd не превышает 0.3 мас. % [11]. Ранее в литературе было описано палладистое золото с концентрацией палладия до 20 мас. % [16], однако, в ходе наших исследований, среди минералов благородных металлов из габбро Кумбинского массива установлены Cu-Au-Pd-сплавы, где содержание Pd может достигать 49 мас. %. Такие соединения не были описаны ранее. Эти фазы встречены в виде самостоятельных зерен или в ассоциации с халькогенидами платиноидов. Наиболее близко этим соединениям соответствует неназванная фаза со стехиометрией Cu₂PdAu, обнаруженная в речных отложениях, перекрывающих Бушвельдский комплекс в ЮАР [19]. С другой стороны, В.Д. Бегизовым в дунитах Нижнетагильского массива был установлен палладистый тетрааурикуприд с содержанием Pd 18.9 мас. % [9], что позволяет относить установленные нами зерна к ряду твердого раствора тетрааурикуприд-палладистый тетрааурикуприд с продолжением этого ряда почти до скаергаардита.

Результаты изучения химического состава самородного золота в габбро ППУ позволили прийти к выводу о существовании трех основных разновидностей этого минерала, сформированных, вероятно, в различных условиях. Для формирования палладистых разновидностей самородного золота контролирующими факторами стали активность и концентрация Те в минералообразующих системах. Так, по данным В.В. Мурзина и соавт. [11], наиболее ранние сульфиды меди в габбро Волковского месторождения кристаллизовались в условиях высокой фугитивности Те, что объясняет преобладание в минеральной ассоциации среди платиноидов меренскиита (PdTe₂). Таким образом, при высокой фугитивности и достаточных концентрациях Те, в рудах Волковского массива весь объем Pd был связан в теллуридную форму, а самородное золото было лишено примеси Pd.

В сульфидных медных рудах из габбро Кумбинского массива и массива Серебрянский Камень, кроме меренскиита, широко распространены и другие минералы Pd, формирующиеся в широком диапазоне условий [10]. Этот факт демонстрирует более широкий диапазон условий кристаллизации минералов благородных металлов в габбро этих массивов, по сравнению с габбро Волковского месторождения. Можно предположить, что фугитивность и/или концентрация Те в рудообразующих системах Кумбинского массива и массива Серебрянский Камень были недостаточны для формирования благороднометалльной ассоциации с преобладанием меренскиита. По этой причине на ранних этапах развития рудообразующей системы Pd входил в состав Cu-Pd-Au-сплава. При дальнейшем падении температуры возрастала фугитивность халькогенидов. Благодаря этому, начали кристаллизоваться высоцкит, мелонит, котульскит и др., что привело к обеднению сульфидного расплава палладием с последующим образованием вначале медно-палладистого золота, а затем самородного золота, лишенного примеси палладия, но характеризующегося повышенным содержанием меди. В целом эволюция рудообразующей системы, по данным изучения габбро Серебрянского камня, сводится к пересыщению сульфидных медных расплавов медью по мере понижения температуры, что находит отражение в переходе от борнит-халькопиритовой сульфидной ассоциации к более поздней дигенит-борнитовой [10]. Аналогичное поведение меди установлено для рудообразующих систем массивов Полярис и Туламин, расположенных в Британской Колумбии [17].

Наиболее позднее самородное золото без примесей Pd и Cu отмечено для Баронского рудопроявления, где его зерна ассоциируют с породообразующими силикатами, вне видимой связи с халькогенидами платиноидов [1]. Аналогичное самородное золото, содержащее только примесь серебра, отмечено в пирит-халькопиритовых минерализованных зонах Кумбинского массива. Совместное нахождение этого типа самородного золота в ассоциации с поздними низкотемпературными силикатными минералами, а также с пиритом может указывать на его формирование в рамках поздних гидротермально-метасоматических или метаморфогенных процессов, не связанных напрямую с эволюцией габброидного расплава.

Широкий набор установленных структурновещественных закономерностей, таких как срастание самородного золота и его химических разновидностей с породообразующими минералами габбро, вмещающих оруденение, структурно-текстурные особенности руд, гомогенность зерен медистого золота и др., свидетельствуют в пользу формирования медно-благороднометалльного оруденения в рамках магматического процесса, что подтверждается последними исследованиями массивов Урало-Аляскинского типа в Британской Колумбии [17]. Принимая во внимание такую модель, исходя из химического состава разновидностей золота, можно приблизительно оценить температуры ликвидуса в системе Au(Ag) -Cu-Pd. Судя по диаграммам поверхности ликвидуса сплавов систем Au–Cu–Ag и Au–Cu–Pd (рис. $3 \text{ в-}\Gamma$) [3], температуры ликвидуса всех изученных образцов самородного золота лежат в интервале 1250-1000°. При этом температура ликвидуса для основного объема самородного золота, медистого золота и медисто-палладистого золота укладывается в диапазон от 1050 до 1000°С. В интервал температуры ликвидуса больше 1050°С попадают образцы Au-Pd-Cu-сплавов со значительным содержанием Pd (рис. 3 г), обнаруженные в габбро Кумбинского массива, единичные образцы из габбро массива Серебрянский Камень и Баронского рудопроявления также с высокой концентрацией Pd. Авторы отдают себе отчет, что расчеты температуры ликвидуса, полученные экспериментально для системы из чистых металлов, имеют отдаленное сходство с природными минералообразующими системами, однако общий тренд снижения температуры минералообразования от высокопалладистых разновидностей самородного золота к золото-серебряным сплавам может найти применение в генетических интерпретациях, при условии магматического происхождения большей части медно-благороднометалльного оруденения в габбро ППУ. Расположение точек составов на диаграмме (рис. 3 г) подтверждает закономерное уменьшение концентрации Pd в самородном золоте в связи с понижением температуры минералообразующей системы, вплоть до образования самородного золота без примеси Pd.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В габбро Платиноносного пояса Урала среди минералов золота установлено абсолютное преобладание сплавов системы Au(Ag)-Cu-Pd. В ходе работы были обнаружены самородное золото без каких-либо примесей, медистое золото и медисто-палладистое золото, а также ранее не описанные для ППУ и России неназванные фазы с составом, близким к стехиометрии Cu₂PdAu и, возможно, являющиеся промежуточными фазами твердого раствора тетрааурикуприд-скаергаардирит. При условии ортомагматического происхожления сушественной части мелно-благороднометалльного оруденения в габбро ППУ, температуры ликвидуса для золота оцениваются интервалом 1250-1000°, хотя для большей части самородного золота, медистого золота и медистопалладистого золота интервал более узок и составляет 1050-1000°.

Важным результатом работы является обнаружение самородного золота не только в рудах Волковского месторождения, но и фактически во всех крупных габбровых массивах Платиноносного пояса Урала, слагающих его существенную часть. Выявленная тенденция накопления благородных металлов в этих породах позволяет на новом уровне оценивать промышленный рудный потенциал габбровых интрузивов, как потенциальных источников меди, золота и палладия, что может в ближайшее время привести к открытию крупных рудных объектов с медно-благороднометалльным оруденением в структуре ППУ и значительному изменению структуры минеральносырьевой базы Урала.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено за счет средств Российского научного фонда, проект № 22-17-00027, https://rscf.ru/project/22-17-00027/.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Аникина Е.В., Алексеев А.В. Минералого-геохимическая характеристика золото-палладиевого оруденения в Волковском габбро-диоритовом массиве (Платиноносный пояс Урала) // Литосфера. 2010. № 5. С. 75–100.
- Аникина Е.В., Заккарини Ф., Кнауф В.В., Русин И.А., Пушкарев Е.В., Гарути Дж. Минералы палладия и золота в рудах Баронского рудопроявления (Волковский габбро-диоритовый массив) // Вестн. Уральского отделения РМО. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2005. С. 5–25.
- Благородные металлы. Справочник / Под ред. Е.М. Савицкого. М.: Металлургия, 1984. 592 с.
- Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Неустроева И.И., Воронина Л.К. Новые золото-платино-палладиевые проявления палладиеносного пояса Урала.

Ежегодник-2006. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2007. С. 214–220.

- Высоцкий Н.К. Месторождения платины Исовского и Нижне-Тагильского районов на Урале // Труды Геологического комитета. Нов. сер. № 62. СПб, 1913. 692 с.
- Ефимов А.А., Ефимова Л.П., Волченко Ю.А. О платиноносности медносульфидных руд Серебрянского камня (Платиноносный пояс Урала) // Ежегодник-2002. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2003. С. 219–222.
- Заварицкий А.Н. Коренные месторождения платины на Урале. Л.: Изд-во Геологического комитета, 1928. 56 с.
- 8. *Иванов О.К.* Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала: (Минералогия, петрология, генезис). Екатеринбург: Изд-во: Урал. ун-та, 1997. 488 с.
- Минералогия Урала: Элементы. Карбиды. Сульфиды. Свердловск: УрО АН СССР, 1990.
- Михайлов В.В., Степанов С.Ю., Козлов А.В., Петров С.В., Паламарчук Р.С., Шиловских В.В., Абрамова В.Д., Корнеев А. В. Новое медно-благороднометалльное рудопроявление в габбро массива Серебрянского Камня, Платиноносный пояс Урала (Северный Урал) // Геология рудных месторождений. 2021. № 6. С. 520–550.
- 11. *Мурзин В.В., Пальянова Г.А., Аникина Е.В., Молошаг В.П.* Минералогия благородных металлов (Au, Ag, Pd, Pt) Волковского Cu-Fe-Ti-V месторождения (Средний Урал) // Литосфера. 2021. № 5. С. 643-659.
- 12. *Пальянова Г.А.* Минералы золота и серебра в сульфидных рудах // Геология рудных месторождений. 2020. № 5. С. 426-449.
- Петров Г.А., Ильясова Г.А., Тристан Н.И. и др. Объяснительная записка. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 200 000. Издание второе. Серия Среднеуральская. Лист Р-40-XXXVI (Североуральск). Санкт-Петербург, ВСЕГЕИ, 2008. 124 с.
- Полтавец Ю.А., Сазонов В.Н., Полтавец З.И., Нечкин Г.С. Закономерности распределения благородных металлов в рудных парагенезисах Волковского габбрового массива (Средний Урал) // Геохимия. 2006. № 2. С. 167–190.
- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграф-Сервис, 2010. 280 с.
- Chapman R.J., Leake R.C., Bond D.P.G., Stedra V., Fairgrieve B. Chemical and mineralogical signatures of gold formed in oxidizing chloride hydrothermal systems and their significance within populations of placer gold grains collected during reconnaissance // Econ. Geol. 2009. P. 563–585.
- Milidragovic D., Nixon G.T., Scoates J.S., Nott J.A., Spence D.W. Redox-controlled chalcophile element geochemistry of the Polaris alaskan-type mafic-ultramafic complex, British Columbia, Canada // The Canadian Mineralogist. 2021. P. 1627–1661. https://doi.org/10.3749/canmin.2100006

ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ том 507 № 2 2022

- Nixon G.T., Manor M.J., Scoates J.S. Cu-PGE sulphide mineralization in the Tulameen Alaskan-type intrusion: analogue for Cu-PGE reefs in layered intrusions? // British Columbia Geological Survey, Geofile 2018-2 (poster).
- 19. Oberthür T., Melcher F., Gast L., Wöhrl C., Lodziak J. Detrital platinum-group minerals in rivers draining the

eastern Bushveld Complex, South Africa // The Canadian Mineralogist. 2004. № 2. P. 563–582.

 Puchkov V.N. General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: what, where, when and why // Ore Geology Reviews. 2017. V. 85. P. 4–29.

FEATURES OF CHEMICAL COMPOSITION OF GOLD MINERALS FROM GABBRO MASSIVES OF THE URALS PLATINUM-BEARING BELT, RUSSIA

S. Yu. Stepanov^a, R. S. Palamarchuk^{a,#}, Corresponding Member of the RAS V. N. Puchkov^a, and S. V. Petrov^b

^aZavaritsky Institute of Geology and Geochemistry Ural Branch of the Russian Academy Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation ^bSt. Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russian Federation [#]E-mail: palamarchuk22@vandex.ru

The paper presents a comparative characteristics of gold minerals from the gabbro of the Ural Platinum-bearing belt based on the author's (Kumbinsky massif, Serebryansky Kamen massif, Volkovskoye deposit) and literary data (Volkovskoye deposit, Baronskoye ore occurrence). It has been established that for the studied assemblages there is a predominance of native gold, which is characterized by the following types: native gold without any impurities, cuprous gold and cuprous-palladium gold. In the gabbro of the Kumba massif, for the first time in the Urals Platinum-bearing belt and Russia, an unnamed phase with a composition close to the Cu2PdAu stoichiometry was found. For all identified types of gold minerals, the conditions for their formation were evaluated.

Keywords: Ural platinum-bearing belt, gabbro, cuprum, noble metals, native gold, gold minerals