

Никелевые аномалии и золото кварцевая минерализация в дунит-гарцбургитовых массивах Первомайско-Верхотуринской площади (Центральный Урал)

Nickel anomalies and gold-quartz mineralization in dunite-harzburgite massifs of the Pervomaisko-Verkhoturinskaya area, Central Urals

Мотов А. П., Малах Ю. Е., Воропаев И. С.

Motov A. P., Malakh Yu. E., Voropaev I. S.

В рудном поле золото-кварц-малосульфидного месторождения Анна, локализованного в выветрелых, окисленных дунит-гарцбургитах первомайского комплекса (σO_2p) Первомайско-Верхотурского района Центрального Урала, так же как и в ряде других золото-кварцевых месторождений Урала, расположены в дунит-гарцбургитовых массивах, установлены повышенные содержания Ni. Пространственная сопряжённость концентраций Au и Ni в дунит-гарцбургитах может быть объяснена частичным унаследованием тектонических нарушений, контролирующих расположение никелевых концентраций, тектоническими нарушениями, локализующими золоторудную минерализацию. Таким образом, наличие ореолов повышенного содержания Ni в дунит-гарцбургитовых массивах вместе с ореолами повышенного содержания Au является благоприятным признаком участков с перспективами обнаружения золото-кварцевой минерализации.

Ключевые слова: никелевые аномалии, дунит-гарцбургиты, золоторудная минерализация, поиски, силикатно-никелевые руды.

Along with some gold-quartz deposits hosted by dunite-harzburgite massifs elsewhere in the Urals, elevated Ni concentrations were revealed within the ore field of the Anna gold-(sulfide)-quartz deposit localized in weathered oxidized dunites and harzburgites of the Pervomaisky complex (σO_2p) in the Pervomaisko-Verkhoturinskaya area of the Central Urals. The spatial association of Au and Ni concentrations in dunites-harzburgites may be attributed to a partial inheritance of Ni-controlling tectonic dislocations by those hosting gold mineralization. Therefore, the combination of halos of Ni and Au concentrations in dunite-harzburgite massifs is a favorable indicator of areas prospective for discovery of gold-quartz mineralization.

Keywords: nickel anomalies, dunite-harzburgite complex, gold mineralization, prospecting and exploration, nickel silicate ore.

Для цитирования: Мотов А. П., Малах Ю. Е., Воропаев И. С. Никелевые аномалии и золото-кварцевая минерализация в дунит-гарцбургитовых массивах Первомайско-Верхотуринской площади (Центральный Урал). Руды и металлы. 2021. № 2. С. 90–98. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10012.

For citation: Motov A. P., Malakh Yu. E., Voropaev I. S. Nickel anomalies and gold-quartz mineralization in dunite-harzburgite massifs of the Pervomaisko-Verkhoturinskaya area, Central Urals. Ores and metals 2021, № 2, pp. 90–98. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10012.

Благоприятными структурами для локализации золоторудной минерализации являются узлы тектонических нарушений, контролирующие расположение сформированных в более ранний этап гидротермальных руд иного рудно-формационного типа. Так, золото-кварц-антимонитовые руды Майского золото-полиметаллического месторождения Чукотки сформированы на месте ранее образованных жильных касситерит-сульфидных и вкрапленных золото-пирит-арсенопиритовых руд [1]. Золото-полиметаллические руды месторождений Канады [14], Швеции [15], Рудного Алтая [3], Урала [6, 7] образовались в результате наложения золотокварцевой минерализации коллизионного этапа на колчеданно-полиметаллические руды более раннего островодужного этапа.

К указанным примерам пространственного совмещения золоторудной минерализации с ранее сформированной рудной минерализацией другого типа может быть добавлен вариант совмещения золото-кварц-малосульфидных руд с силикатно-никелевой минерализацией, наблюдаемый в дунит-гарцбургитовых массивах Урала и других регионах проявления никеленосных дунит-гацбургитов. Фактическими данными, указывающими на совмещение в пространстве рудной минерализации этих двух типов, являются:

- аномально высокие содержания Au (десятые г/т) в силикатно-никелевых рудах месторождений Уфалейское, Еловское, Буруктальское (Урал), Шклярское (Польша), массив Мусонгати (Бурунди) [2, 12, 13];

- аномально высокие содержания Ni (до 0,5 %) в рудах золоторудного месторождения Золотая Гора Урала, локализованного в дунит-гарцбургитах [4];

- приуроченность золоторудной минерализации Кировского месторождения Урала к тектонически нарушенным частям дунит-гарцбургитовых массивов, трассированных антигоритовыми серпентинитами, тремолитовыми и тальк-карбонат-хлоритовыми метасоматитами, в которых наблюдаются сростания самородного золота с никелином, антигоритом, тальком, хлоритом [10, 11];

- аномально повышенные содержания Ni в рудном поле золото-малосульфидно-кварцевого месторождения Анна, расположенном в центрально-восточном секторе Урала (рис. 1), установленные по результатам спектрального анализа в аналитической лаборатории АО «Золото Северного Урала» в 2016-2018 гг. и скорректированные данными количественного анализа методом ICP-AES в лаборатории SGS в 2021 г.

Месторождение Анна представлено крутопадающим (70–80°) на северо-восток рудным штоком с параметрами поперечного сечения 20 × 40 м, прослеженным на глубину до 120 м. Рудное тело сложено золото-малосульфидно-кварцевыми рудами, сопровождаемыми фуксит-карбонат-кварцевыми метасоматитами по дунит-гарцбургитам. До глубины порядка 40 м руды и вмещающие породы окислены и представляют собой рыхлый щебенисто-комковатый материал. Ниже этой глубинной отметки среди скальных вмещающих пород появляются первичные руды золота [5]. Вместе с тем, продукты окисления и выветривания, распространяющиеся вдоль линейных зон тектонических нарушений, прослеживаются в керне колонкового бурения до глубины 104 м. В рудном поле месторождения Анна проявлены положительные аномалии Ni с содержанием этого элемента в диапазоне 0,3–0,6 %, что, по И. В. Таловиной [12], соответствует определению никеленосных пород. В верхних частях вертикального профиля коры выветривания ореолы Ni имеют площадной, стратифицированный характер развития, ниже ореолы Ni приобретают линейную форму и крутопадающее залегание. Возможно, часть глубоко залегающих линейных и крутопадающих ореолов повышенного содержания Ni в дунит-гарцбургитах имеют гидротермальную природу, что соответствует развиваемым в последние десятилетия представлениям о смещённой экзогенно-гипогенной природе формирования концентраций Ni в ультраосновных массивах [9, 13]. Уровень накопления никеля в дунит-гарцбургитах золоторудного поля Анна не достигает уровня силикатно-никелевых руд. Бортовое содержание Ni в силикатно-никелевых рудах

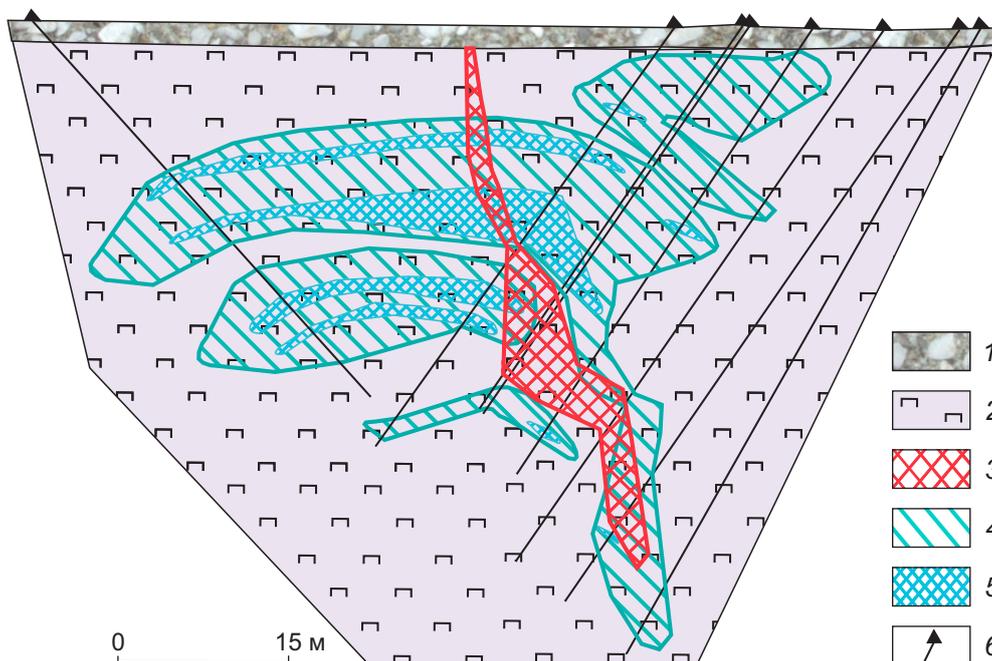


Рис. 1. Разрез рудного тела месторождения Анна и положительных аномалий Ni:

1 – покровно-почвенные отложения; 2 – дунит-гарцбургиты первомайского комплекса ($\sigma\nu O_2p$); 3 – золото-малосульфидно-кварцевые руды; никелевая аномалия: 4 – нижнего уровня $0,5\% > Ni \geq 0,3\%$, 5 – верхнего уровня $0,6\% > Ni \geq 0,5\%$; 6 – скважины колонкового бурения

Fig. 1. Geological section of the Anna deposit orebody and Ni positive anomalies:

1 – soil cover; 2 – dunites-harzburgites of the pervomaisky complex ($\sigma\nu O_2p$); 3 – gold-(sulfide)-quartz ores; Ni anomaly: 4 – lower level ($0.5\% > Ni \geq 0.3\%$), 5 – upper level ($0.6\% > Ni \geq 0.5\%$); 6 – core boreholes

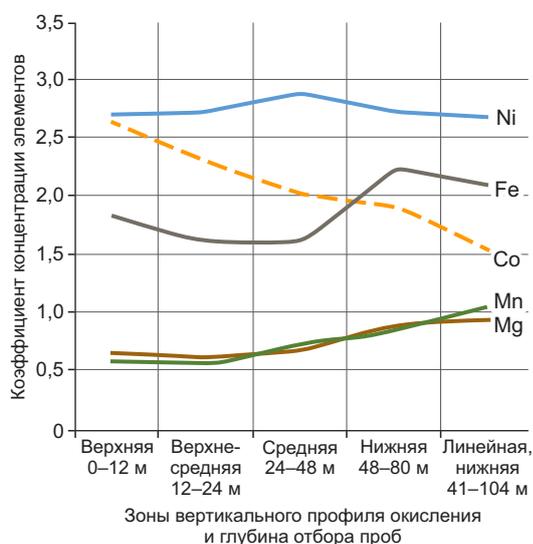


Рис. 2. Изменение коэффициента концентрации химических элементов в вертикальном профиле окисленных никельсодержащих дунит-гарцбургитов рудного поля месторождения Анна

Fig. 2. Variations in the element concentration ratios in the vertical section of oxidized Ni-containing dunites-harzburgites of the Anna ore field

1. Распределение содержаний химических элементов в дунит-гарцбургитах рудного поля месторождения Анна

1. Distribution of chemical elements in dunites-harzburgites of the Anna ore field

Химические элементы		Дунит-гарцбургиты первомайского комплекса					С локально- фоновым содержанием Ni
		Никельсодержащие					
		Зоны вертикального профиля окисления					
		Площадные, пологозалегающие		Линейная, крутопадающая			
		Число проб					
		124	142	211	61	103	106
		Глубина отбора проб, м					
Индекс	Содержание, %	Верхняя, 0–12	Верхне- средняя, 12–24	Средняя, 24–48	Нижняя, 48–80	41–104	40–114
Ni	Среднее	0,46	0,46	0,49	0,46	0,45	0,17
	Минимальное	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,00
	Максимальное	0,60	0,60	0,60	0,60	0,59	0,20
Co	Среднее	0,010	0,009	0,007	0,007	0,006	0,004
	Минимальное	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,000
	Максимальное	0,055	0,026	0,024	0,021	0,010	0,006
Fe	Среднее	4,98	4,41	4,40	6,13	5,77	2,73
	Минимальное	0,50	1,00	0,50	0,50	2,00	0,50
	Максимальное	16,00	10,00	14,00	15,00	14,00	5,00
Mg	Среднее	4,94	4,66	5,21	6,70	7,02	7,58
	Минимальное	2,00	1,00	2,00	2,00	0,50	5,00
	Максимальное	9,00	9,00	11,00	12,00	12,00	10,00
Mn	Среднее	0,123	0,12	0,15	0,18	0,21	0,21
	Минимальное	0,010	0,02	0,01	0,01	0,04	0,02
	Максимальное	1,040	0,44	0,45	0,40	0,40	0,68

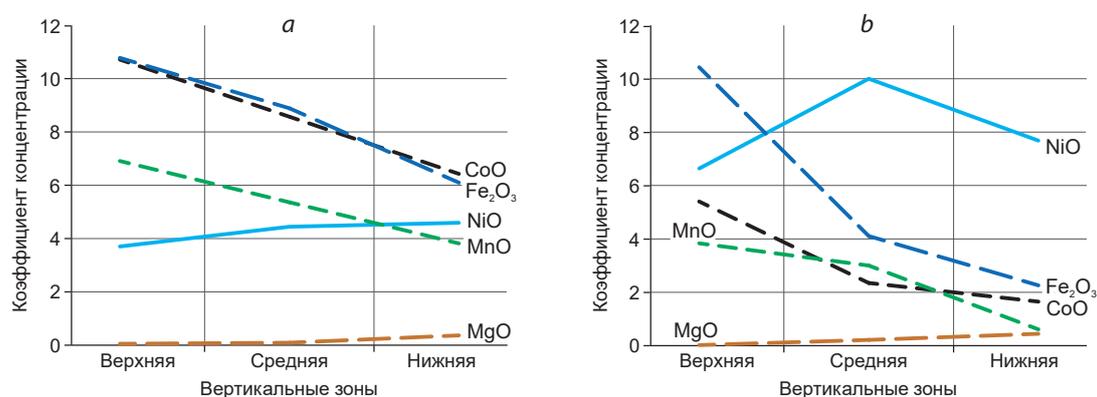


Рис. 3. Изменение коэффициента концентрации химических элементов в вертикальном профиле силикатно-никелевых руд месторождений Буруктальское (а) и Сахаринское (б)

Fig. 3. Variations in the chemical element concentration ratios in the vertical section of nickel silicate ores at the Buruktal (a) and Sakharin (b) ore deposit

2. Распределение коэффициента концентрации химических элементов в вертикальном профиле окисленных никельсодержащих дунит-гарцбургитов рудного поля месторождения Анна

2. Distribution of chemical element concentration ratios in the vertical section of oxidized Ni-containing dunites-harzburgites of the Anna ore field

Химический элемент	Зоны вертикального профиля окисления никельсодержащих дунит-гарцбургитов					Дунит-гарцбургиты с локально-фоновым содержанием Ni
	Число проб					
	124	142	211	61	103	106
	Площадные, пологозалегающие				Линейная, крутопадающая	40–114 м
Верхняя, 0–12 м	Верхне-средняя, 12–24 м	Средняя, 24–48 м	Нижняя, 48–80 м	Линейная, нижняя, 41–104 м		
Ni	2,72	2,73	2,89	2,73	2,68	1,00
Co	2,63	2,30	2,02	1,91	1,53	1,00
Fe	1,82	1,61	1,61	2,24	2,11	1,00
Mg	0,65	0,62	0,69	0,89	0,93	1,00
Mn	0,59	0,55	0,71	0,86	1,02	1,00

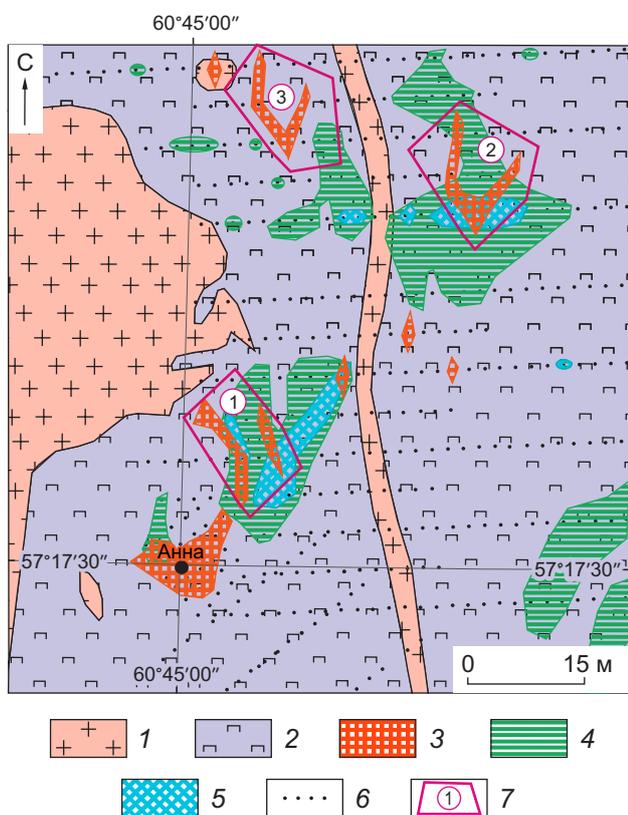


Рис. 4. Схема расположения ореолов привноса Au и Ni ($0,6\% > Ni \geq 0,3\%$) рудного Первомайско-Верхотурского района:

1 – граниты верхисетского комплекса ($\gamma C_{1-2}v$); 2 – дунит-гарцбургиты первомайского комплекса ($\sigma v O_2 p$); 3 – ореолы привноса Au ($\geq 0,1$ г/т); ореолы привноса Ni: 4 – $0,4\% > Ni \geq 0,3\%$, 5 – $0,6\% > Ni \geq 0,3\%$; 6 – точки литохимического опробования; 7 – перспективные на золотокварцевую минерализацию участки

Fig. 4. Schematic map showing positive haloes of Au and Ni ($0,6\% > ni \geq 0,3\%$) in the Pervomaisko-Verkhoturie ore district:

1 – boundaries of the verkhisetsky complex ($\gamma C_{1-2}v$); 2 – dunites-harzburgites of the pervomaisky complex ($\sigma v O_2 p$); 3 – positive au haloes (>0.1 g/t); positive ni haloes: 4 – $0.4\% > ni \geq 0.3\%$; 5 – $0.6\% > ni \geq 0.3\%$; 6 – lithochemical sampling stations; 7 – sites prospective for gold-quartz mineralization

3. Параметры содержания NiO, CoO, Fe₂O₃, MgO, MnO в вертикальном профиле силикатно-никелевых руд Буруктальского и Сахаринского месторождений (Урал), по [12]

3. Concentration parameters of NiO, CoO, Fe₂O₃, MgO, and MnO in the vertical section of nickel silicate ores at the Buruktal and Sakharinskoe ore deposits in the Urals, after [12]

Месторождение	Оксиды	Содержание				Коэффициент концентрации			
		Рудные зоны вертикального профиля окисления			Неокисленные	Рудные зоны вертикального профиля окисления			Неокисленные
		верхняя	средняя	нижняя		верхняя	средняя	нижняя	
		гётитовая	нонтронитовая	лизардитовая		гётитовая	нонтронитовая	лизардитовая	
Буруктальское	NiO	1,00	1,20	1,24	0,27	3,70	4,44	4,59	1,00
	CoO	0,150	0,120	0,090	0,014	10,71	8,57	6,43	1,00
	Fe ₂ O ₃	47,75	39,37	27,02	4,430	10,78	8,89	6,10	1,00
	MgO	2,24	3,86	15,35	41,77	0,05	0,09	0,37	1,00
	MnO	0,760	0,59	0,42	0,11	6,91	5,36	3,82	1,00
Сахаринское	NiO	1,46	2,20	1,69	0,22	6,64	10,00	7,68	1,00
	CoO	0,108	0,047	0,033	0,020	5,40	2,35	1,65	1,00
	Fe ₂ O ₃	66,23	26,08	14,35	6,350	10,43	4,11	2,26	1,00
	MgO	0,81	7,97	16,31	36,66	0,02	0,22	0,44	1,00
	MnO	0,690	0,54	0,11	0,18	3,83	3,00	0,61	1,00

Урала – 0,9 %. Эта цифра, в частности, приводится И. В. Таловиной [12] для кондиций силикатно-никелевых руд Буруктальского месторождения. Распределение содержания рудных (Ni и Co) и петрогенных элементов (Fe, Mg, Mn) в вертикальном профиле никеленосных пород рудного поля золотокварцевого месторождения Анна (табл. 1, рис. 2) и в силикатно-никелевых рудах Буруктальского и Сахаринского месторождений (табл. 2, 3, рис. 3) [8, 12] обладает следующими чертами сходства:

- Ni накапливается в средней и нижней зонах окисления;
- Co и Fe концентрируются в верхней зоне окисления;
- верхняя зона окисления в наибольшей степени обеднена Mg и Mn.

Сходство распределения химических элементов в рудах никелевых месторождений и в

ореоле повышенного содержания Ni на участке золоторудного поля месторождения Анна, близость расположения ореолов привноса Ni и Au, как на месторождении Анна (см. рис. 1), так и шире – в Первомайско-Верхотурском районе (рис. 4) – предполагают пространственную близость тектонических структур, контролирующих как золоторудную минерализацию, так и ореолы накопления Ni.

Заключение. Практическим следствием проведённых наблюдений является выделение и интерпретация участков близкого пространственного расположения геохимических аномалий Ni и Au в дунит-гарцбургитах Первомайско-Верхотуринского и других районов Урала в качестве участков, перспективных на обнаружение золотокварцевой минерализации.

Список литературы:

1. Бортников Н. С., Брызгалов И. А., Кривицкая Н. Н., Прокофьев В. Ю., Викентьева О. В. Майское многоэтапное прожилково-вкрапленное золото-сульфидное месторождение (Чукотка, Россия): минералогия, флюидные включения, стабильные изотопы (О и S), история и условия образования // Геология рудных месторождений. – 2004. – Т. 46, № 6. – С. 475–509.
2. Воронцова Н. И., Таловина И. В. Платиноиды, золото и серебро в месторождениях кор выветривания на офиолитовых массивах с дунит-гарцбургитовым типом субстрата, Урал // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы геологии и эксплуатации месторождений платиновых металлов (I научные чтения памяти проф. В. Г. Лазаренкова)». – 2016. – СПб. : СПГУ. – С. 111–119.
3. Гусев А. И., Гусев Н. И. Петрология магматических систем золото-обогащённых колчеданных объектов Рудного Алтая и Салаира // Природные ресурсы Горного Алтая. Геология, геофизика, гидрогеология, геоэкология, минеральные и водные ресурсы. – 2015. – № 19, вып. 1–2. – С. 68–78.
4. Мурзин В. В., Варламов Д. А., Пальянова Г. А. Условия образования золотоносных магнетит-хлорит-карбонатных пород Карабашского массива гипербазитов // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 7. – С. 1006–1007.
5. Несис В. Н., Мотов А. П., Бутняков А. В. Вертикальная геохимическая зональность окисленных руд золоторудных месторождений Анна и Шилловское, Центральный Урал // Руды и металлы. – 2019. – № 4. – С. 34–45.
6. Несис В. Н., Мотов А. П., Бутняков А. В. Золото-обогащённое Саумское и Галкинское месторождения, Северный Урал // Руды и металлы. – 2019. – № 2. – С. 73–83.
7. Несис В. Н., Мотов А. П., Бутняков А. В. Соотношение колчеданно-полиметаллической и золоторудной минерализации месторождения Тамуньер (Северный Урал) // Уральская минералогическая школа. – 2019. – Екатеринбург : Универсальная Типография «Альфа Принт». – 2019. – С. 100–103.
8. Никеленосные коры выветривания Урала // под ред. Н. В. Павлова. – М. : Наука, 1970. – 288 с.
9. Сагдиева Р. К., Таловина И. В., Воронцова Н. И. Современные взгляды на формирование никеленосных кор выветривания ультраосновных массивов на Урале // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 16. – С. 278–288.
10. Сазонов В. Н., Мурзин В. В., Огородников В. Н., Волченко Ю. А. Золотое оруденение, сопряжённое с альпинотипными ультрабазитами (на примере Урала) // Литосфера. – 2002. – № 2. – С. 63–77.
11. Сначев В. И., Рыкус М. В., Савельев Д. Е., Грицук А. Н. Благороднометалльное оруденение дунит-гарцбургитовой и черносланцевой формации западного склона Южного Урала // Геологический сборник. – 2001. – № 2. – С. 152–162.
12. Таловина И. В. Геохимия уральских окисдно-силикатных никелевых месторождений. – СПб. : Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2012. – 272 с.
13. Таловина И. В., Лазаренков В. Г., Воронцова Н. И., Пилюгин А. Г., Гайфутдинова А. М. Элементы платиновой группы, золото и серебро в гипергенных никелевых месторождениях на офиолитовых массивах с дунит-гарцбургитовым субстратом // Записки Горного института. – 2013. – Т. 200. – С. 310–320.
14. Dube B., Gosselin P., Hannington M., Galley A. Gold-rich volcanogenic massive sulphide deposits // Mineral Deposits of Canada: a synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods / Geological Association of Canada ; Mineral Deposits Division. – 2007. – Special Publication № 5. – P. 75–94.
15. Mercier-Langevin P., McNicoll V., L. Allen R., Blight J. H. S., Dubé B. The Boliden gold-rich volcanogenic massive sulfide deposit, Scellefte district, Sweden: new U-Pb Age constraints and implications at deposit and district scale // Mineralium Deposita. – 2013. – № 48. – P. 485–504.

References:

1. Bortnikov N. S., Bryzgalov I. A., Krivitskaya N. N., Prokof'ev V. Yu., Vikent'eva O. V. Maiskoe mnogoetapnoe prozhil'kovo-vkraplennoe zoloto-sul'fidnoe mestorozhdenie (Chukotka, Rossiya): mineralogiya, flyuidnye vklyucheniya, stabil'nye izotopy (O i S), istoriya i usloviya obrazovaniya [Multi-stage vein-



- ned gold-sulfide deposit (Chukotka, Russia): mineralogy, fluid inclusions, stable isotopes (O and S), history and conditions of formation], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 2004, V. 46, No 6, pp. 475–509. (In Russ.).
2. Vorontsova N. I., Talovina I. V. Platinoidy, zoloto i srebro v mestorozhdeniyakh kor vyvetrivaniya na ofiolitovykh massivakh s dunit-gartsburgitovym tipom substrata, Ural [Platinoids, gold and silver in the fields of weathering on ophiolitic arrays with a Dunit-Harzburgite type of substrate, the Urals], *Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Problemy geologii i ekspluatatsii mestorozhdenii platinovykh metallov (I nauchnye chteniya pamyati prof. V. G. Lazarenkova)"* [Proceedings of the All-Russian Conference with the International Participation "Problems of Geology and Operations of Platinum Metal Fields (I Scientific Research in memory of the Prof. V. G. Lazarenkov)"], 2016, St. Petersburg, SPGU Publ., pp. 111–119. (In Russ.).
 3. Gusev A. I., Gusev N. I. Petrologiya magmatischeskikh sistem zoloto-obogashchennykh kolchedannykh ob"ektov Rudnogo Altaya i Salaira [Petrology of magmatic systems of gold-enriched pyrite objects of Ore Altai and Salair], *Prirodnye resursy Gornogo Altaya. Geologiya, geofizika, gidrogeologiya, geoekologiya, mineral'nye i vodnye resursy* [Natural resources of Ore Altai. Geology, Geophysics, Hydrogeology, Geoecology, Mineral and Water Resources], 2015, No 19, I. 1–2, pp. 68–78. (In Russ.).
 4. Murzin V. V., Varlamov D. A., Pal'yanova G. A. Usloviya obrazovaniya zolotonosnykh magnetit-khlorit-karbonatnykh porod Karabashskogo massiva giperbazitov [Conditions for the formation of gold-bearing magnetite chlorite-carbonate rocks of the Karabash massif of hyperbasites], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2017, V. 58, No 7, pp. 1006–1007. (In Russ.).
 5. Nesis V. N., Motov A. P., Butnyakov A. V. Vertikal'naya geokhimicheskaya zonal'nost' okislennykh rud zolotorudnykh mestorozhdenii Anna i Shilovskoe, Tsentral'nyi Ural [Vertical geochemical zonality of oxidized ores of gold deposits Anna and Shilovskoe, Central Ural], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2019, No 4, pp. 34–45. (In Russ.).
 6. Nesis V. N., Motov A. P., Butnyakov A. V. Zolotoobogashchennoe Saumskoe i Galkinskoe mestorozhdeniya, Severnyi Ural [Gold rich Saum and Galkinskoye deposits, Northern Urals], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2019, No 2, pp. 73–83. (In Russ.).
 7. Nesis V. N., Motov A. P., Butnyakov A. V. Sootnoshenie kolchedanno-polimetallicheskoj i zolotorudnoj mineralizatsii mestorozhdeniya Tamun'er (Severnyi Ural) [The ratio of the pyrit-polymetallic and gold mineralization of the Tamun'er field (Northern Urals)], *Ural'skaya mineralogicheskaya shkola – 2019* [Ural Mineralogical School – 2019], Ekaterinburg, Universal'naya Tipografiya "Alfa Print" Publ., 2019, pp. 100–103.
 8. Nikelenosnye kory vyvetrivaniya Urala [Nicel-bearing weathering crusts of the Urals], Moscow, Nauka Publ., 1970, 288 p.
 9. Sagdieva R. K., Talovina I. V., Vorontsova N. I. Sovremennye vzglyady na formirovanie nikelenosnykh kor vyvetrivaniya ul'traosnovnykh massivov na Urale [Modern views on the formation of nicel-bearing weathering of ultra-basic arrays in the Urals], *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)], 2016, No 16, pp. 278–288. (In Russ.).
 10. Sazonov V. N., Murzin V. V., Ogorodnikov V. N., Volchenko Yu. A. Zolotoe orudnenie, sopryazhennoe s al'pinotipnymi ul'trabazitami (na primere Urala) [Golden mineralization, conjugated with alpinotype ultra-bazites (on the example of the Urals)], *Litosfera* [Lithosphere], 2002, No 2, pp. 63–77. (In Russ.).
 11. Snachev V. I., Rykus M. V., Savel'ev D. E., Gritsuk A. N. Blagorodnometall'noe orudnenie dunit-gartsburgitovoi i chernoslantsevoi formatsii zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [Noble-metal mineralization of the Dunit-Harzburgite and the Blackshale formation of the Western Slope of the Southern Urals], *Geologicheskii sbornik* [Geological Digest], 2001, No 2, pp. 152–162. (In Russ.).
 12. Talovina I. V. Geokhimiya ural'skikh oksidno-silikatnykh nikelovykh mestorozhdenii [Geochemistry of the Urals oxide-silicate nickel deposits], St. Petersburg, Natsional'nyi mineral'no-syr'evoi universitet "Gornyi" Publ., 2012, 272 p.
 13. Talovina I. V., Lazarenkov V. G., Vorontsova N. I., Pilyugin A. G., Gaifutdinova A. M. Elementy platinovoi gruppy, zoloto i srebro v gipergennykh nikelovykh mestorozhdeniyakh na ofiolitovykh massivakh s dunit-gartsburgitovym substratom [Elements of the platinum group, gold and silver in hypergenic nickel fields on ophiolite arrays with a Dunit-Garzburgite substrate], *Zapiski Gornogo instituta* [Note of the Mining Institute], 2013, V. 200, pp. 310–320. (In Russ.).

14. Dube B., Gosselin P., Hannington M., Galley A. Gold-rich volcanogenic massive sulphide deposits, *Mineral Deposits of Canada: a synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods*, 2007, Special Publication No 5, pp. 75–94.
15. Mercier-Langevin P., McNicoll V., L. Allen R., Blight J. H. S., Dubé B. The Boliden gold-rich volcanogenic massive sulfide deposit, Scellefte district, Sweden: new U-Pb Age constraints and implications at deposit and district scale, *Mineralium Deposita*, 2013, No 48, pp. 485–504.

Авторы

Мотов Андрей Павлович

кандидат геолого-минералогических наук
директор по развитию¹
motovAP@plme.ru

Малах Юрий Ефимович

председатель совета директоров¹
Malakh@plme.ru

Воропаев Илья Станиславович

главный геолог²
voropaevis@yandex.ru

¹ ООО «Февральское», Санкт-Петербург

² ООО «Среднеуральское Поисковое Бюро»,
г. Екатеринбург

Authors

Motov Andrey Pavlovich

PhD
Director of Development¹
motovAP@plme.ru

Malakh Yuriy Efimovich

Chairman of the Board of Directors¹
Malakh@plme.ru

Voropaev Iliya Stanislavovich

Chief Geologist²
voropaevis@yandex.ru

¹ ООО Fevral'skoe, St. Petersburg, Russia

² ООО Sredneural'skoe Poiskovoe Byuro,
Ekaterinburg, Russia