

УДК: 553.411:553.24(571.65)

СО–НИ–СУЛЬФОАРСЕНИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЕГДЕКАН (Северо-Восток России)

Савва Н. Е.¹ , Волков А. В.², Сидорова Н. В.²

¹ ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан

E-mail: savva@neisri.ru

² ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
г. Москва

E-mail: tma2105@mail.ru

Рассмотрены результаты минералого-геохимических исследований метасоматически измененной дайки долеритов, выявленной на юго-западном фланге (участок Верный) золоторудного месторождения Дегдекан. В метасоматитах установлены повышенные концентрации Ni, Co, Cr, Pt и Pd, а также широкое развитие Cr–V-мусковита (фуксита) и гнездовых скоплений Со–Ni сульфоарсенида – герсдорфита. На основе выполненных исследований сделаны предположения о каналах транспортировки и источниках Ni, Co, Pt и Pd в рудах и вмещающих породах месторождения.

Ключевые слова: Северо-Восток России, месторождение Дегдекан, фуксит, герсдорфит, золото, PGE, никель, кобальт, хром.

DOI: 10.34078/1814-0998-2024-3-29-37

ВВЕДЕНИЕ

Дегдеканское золоторудное месторождение расположено в Тенькинском районе Магаданской области, в 460 км к северо-западу от Магадана и в 70 км к северо-западу от суперкрупного Наталкинского месторождения.

Со–Ni-сульфоарсенидная минерализация на участке Верный золоторудного месторождения Дегдекан впервые выявлена в 1999 г. и затем периодически встречалась как в рудах, так и во вмещающих черносланцевых толщах (Савва, Парфёнов, 2001). Отметим, что подобная минерализация нетипична для орогенных золоторудных месторождений не только Северо-Востока, но и других регионов России и мира и, как правило, характерна для гидротермальных месторождений, залегающих в породах базитового и гипербазитового состава.

Позднее в пробах-протоколках из черносланцевой рудовмещающей толщи месторождения Дегдекан были установлены платинометаллические минералы, которые коррелируют с находками Со–Ni минералов (герсдорфит, никеле-

носный пирит) и аксессуарного хромита (Горячев и др., 2011).

Вместе с тем условия возникновения как Со–Ni-сульфоарсенидной, так и платинометаллической минерализаций золоторудного месторождения Дегдекан во многом остаются неясными (Гончаров и др., 1995; Стружков и др., 2009; Ханчук и др., 2011). Поэтому выполненные авторами исследования, результаты которых обсуждаются в данной статье, – актуальны для решения задач о возможных источниках и условиях образования Со–Ni-сульфоарсенидов и минералов PGE на этом месторождении.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На россыпном полигоне месторождения Дегдекан отобраны образцы для исследований (рис. 1). Минеральный состав и минеральные парагенезисы и метасоматиты изучены в отраженном и проходящем свете с использованием оптического микроскопа Axioptan Imagin фирмы Carl Zeiss. Химический состав минералов определен в Северо-Восточном центре коллективного пользования СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан: рентгеновским энергодисперсионным микроанализом

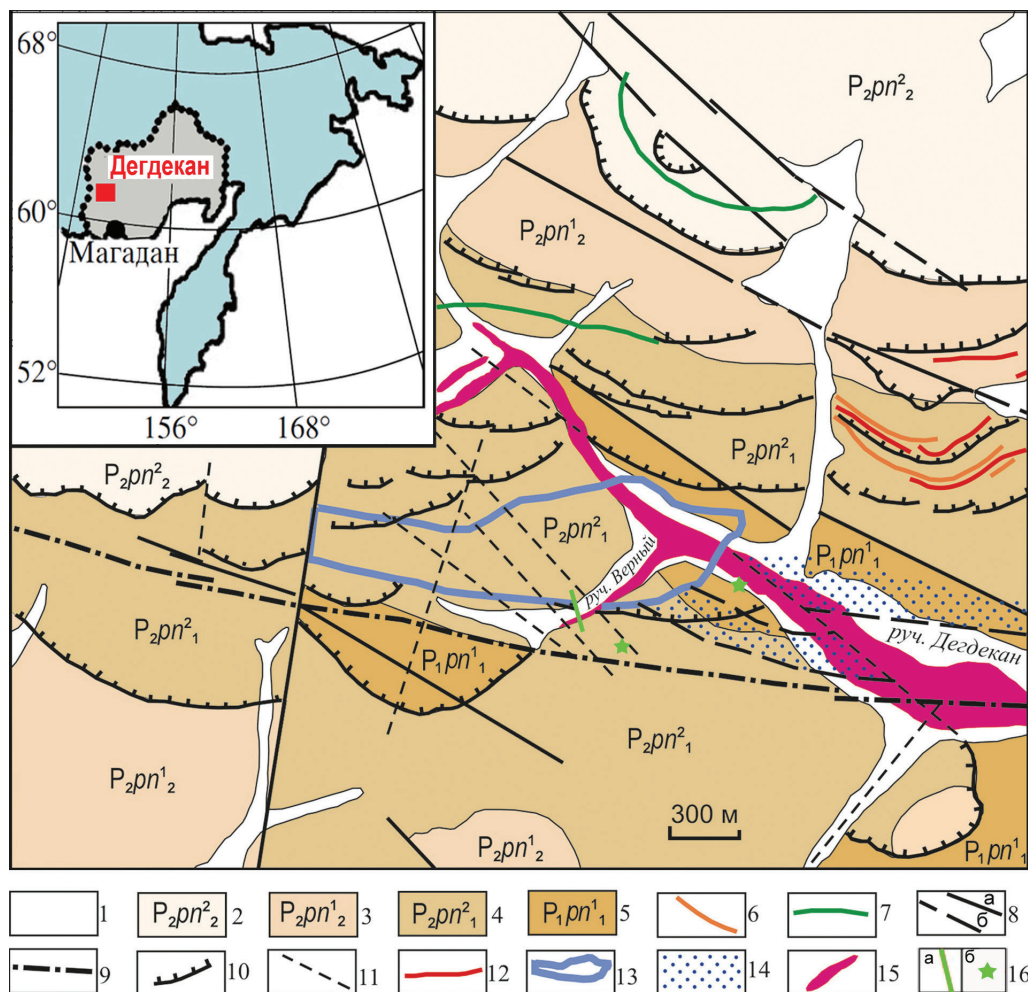


Рис. 1. Геолого-структурная схема Дегдеканского золоторудного месторождения (Михайлов и др., 2010; Литвиненко, 2023), с изменениями: 1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2–5 – ранне-среднепермские отложения пионерской свиты: 2, 3 – средняя подсвита: глинистые алевролиты с долей песчаной примеси нижней (2) и глинистые алевролиты верхней (3) пачек; 4, 5 – нижняя подсвита: алевролиты, глинистые алевролиты с прослоями алевролитистых аргиллитов верхней (4) и алевролитистых аргиллитов нижней (5) пачек; 6, 7 – дайки позднемеловых риолитов (6) и позднеюрских диорит-порфиров (7); 8 – установленные (а) и предполагаемые (б) северо-западные рудоподводящие разломы; 9 – Дегдеканский рудоконтролирующий разлом; 10 – взбросо-надвижки; 11 – второстепенные разломы; 12 – кварцево-жильные рудные тела; 13 – крупнообъемное рудное тело участка Верный (зона золото-сульфидно-кварцевой прожилково-вкрапленной минерализации); 14 – область развития вкрапленной золотой минерализации; 15 – россыпи золота; 16: а – дайка долеритов (βJ_3), б – находки герсдорфита в канавах (К-3 и К-7).

Fig. 1. Geological and structural diagram of the Degdekan gold deposit (Mikhailov et al., 2010; Litvinenko, 2023), with changes: 1 – Quaternary alluvial deposits; 2–5 – Early-Middle Permian deposits of the Pioneer formation: 2, 3 – middle sub-formation: clay siltstones with a sandy admixture fraction of the lower (2) and clay siltstones of the upper (3) series; 4, 5 – lower sub-formation: siltstones, clay siltstones with silty mudstone layers of the upper (4) and siltstone mudstones of the lower (5) series; 6, 7 – dikes of Late Cretaceous rhyolites (6) and Late Jurassic diorite porphyrites (7); 8 – established (a) and assumed (b) northwestern ore-conduit faults; 9 – Degdekan ore-controlling fault; 10 – overthrusts; 11 – secondary faults; 12 – quartz-lode ore bodies; 13 – large-volume ore body of the Verny site (zone of gold-sulfide-quartz vein-disseminated mineralization); 14 – area of of disseminated gold mineralization development; 15 – gold placers; 16: a – dolerite dike (βJ_3), b – gersdorffite finds in trenches (K-3 and K-7).

на приборе QEMSCAN Esprit system в режиме сканирующего микроскопа (EVO-50). Условия съемки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток пучка от до 14 до 120 пА, размер излучающей области – 4 мкм, сигнал детектирования – SE (вторичные электроны), с использованием стандартного метода P/B-ZAF, аналитики Е. М. Горячева,

О. Т. Соцкая, М. И. Парфёнов. Состав породы определен методом РФА, методика КХА 165/2009 и НСАМ № 118-X, аналитик В. Я. Борходоев. Количественное определение широкого круга химических элементов в рудах проведено эмиссионным количественным спектральным анализом на спектрографе УСА-5 с полуавтоматической про-

сыпкой по разработанной методике ЭКСА, аналитик Т. П. Козырева. Состав фуксита определен в ЦКП «ИГЕМ-аналитика» (ИГЕМ РАН) на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8200 (JEOL), карбонатов – на растровом электронном микроскопе (JSM-5610LV, Япония) с энергодисперсионной приставкой (INCA-Energy 450, Великобритания), аналитик В. И. Таскаев.

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИЯ

Дегдеканское месторождение расположено в северо-западной части Аян-Юряхского антиклинория и приурочено к узлу пересечения зоны Тенькинского глубинного разлома (полосой шириной до 6 км) со сближенными субширотными разнонаправленными взбросо-надвигами, азимут простираения 270–290°, падающих на север под углом 30–60° (Voroshin et al., 2006; Савчук, Волков 2022). Субширотные разломы, контролирующие рудоносные кварцевые жилы и штокверковую залежь (рис. 1), представлены зонами дробления, смятия, расланцевания, многочисленными зеркалами скольжения.

Площадь месторождения сложена алевролитами и алевропесчаниками позднепермского возраста пионерской свиты (P_3^{pn}). Рудная залежь (штокверк) на участке Верный, протяженностью ≈ 1800 м, мощностью от 250–300 до 500 м (рис. 1), вмещает жилы и зоны прожилкования. Из бассейна р. Дегдекан было добыто около 70 т россыпного золота. В 2010 г. были проведены поисково-оценочные работы на участке Жильный и завершена разведка участка Верный. Согласно оперативному подсчёту, геологические запасы золота по категориям $C_1 + C_2$ составили 92 т золота, в том числе в контуре карьера 37 т со средним содержанием золота 2.26 г/т*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дайка интенсивно измененных долеритов, вскрытая на полигоне участка Южный (рис. 2), имеет не только метасоматические изменения, но и гипергенные, за счет которых окрашена в бурый цвет железистыми охрами (рис. 2, а).

* <https://nedradv.ru/nedradv/invetsp>

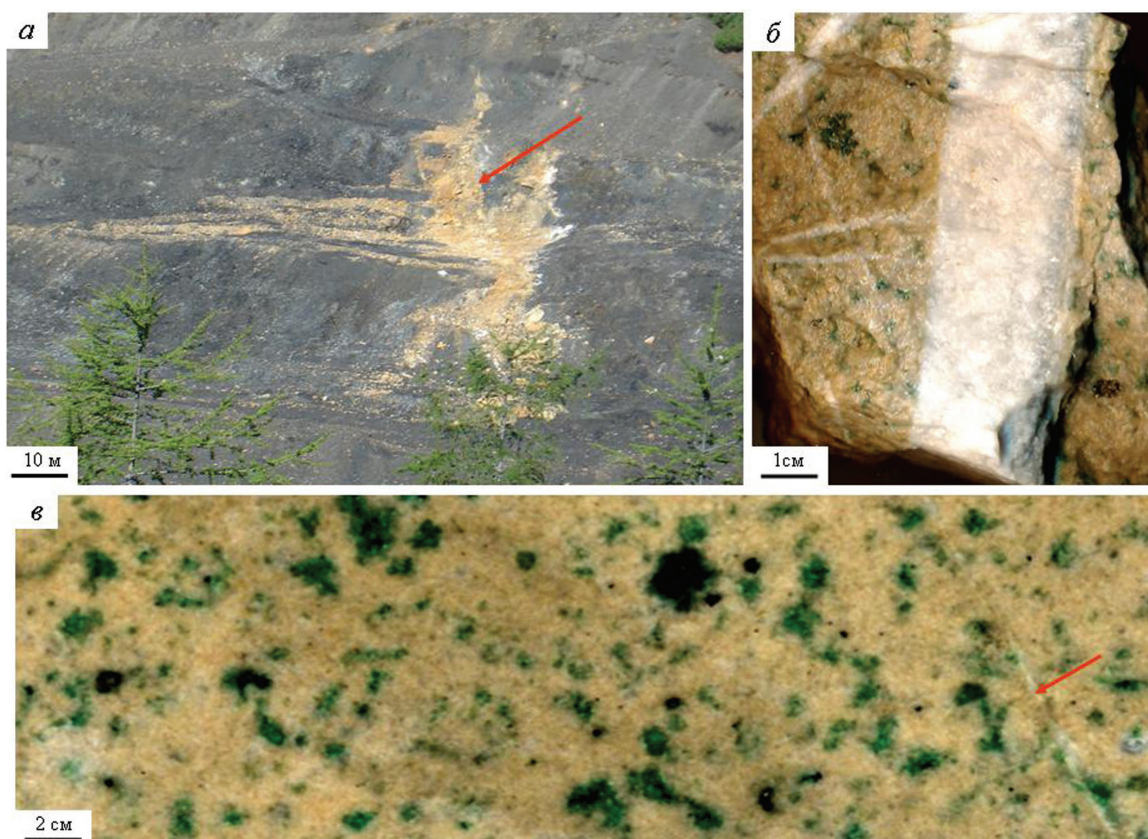


Рис. 2. Дайка долерита, вскрытая на полигоне Южного участка месторождения Дегдекан: а – общий вид расчистки (положение дайки в расчистке показано стрелкой); б – прожилки кварца с углистыми примазками; в – вид породы с зелеными вкраплениями хлорита и Cr-V-содержащего зеленого мусковита и фуксита, черное – рудный вкрапленник.

Fig. 2. Dolerite dike uncovered at the landfill of the Southern site of the Degdekan deposit: а – general view of the clearing (the dike position in the clearing shown by an arrow); б – quartz veins with carbonaceous adhesions; в – type of rock with green impregnations of chlorite and Cr-V-containing green muscovite and fuchsite; black marks ore impregnation.

Простираение дайки СВ – 330–340°, падение СЗ – 70–75°, ее дорудный характер не вызывает сомнений, т. к. она пересечена сетью многочисленных кварцевых прожилков с линзами углестого вещества (рис. 2, б). Порода имеет характерный облик за счет входящего в нее зеленого мусковита (рис. 2, в).

Особенности метасоматических изменений дайки

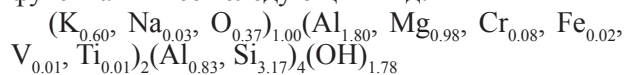
Данные рентгенофлуоресцентного анализа показали следующий состав метасоматита в %: SiO₂ – 56.27; TiO₂ – 0.50; Al₂O₃ – 13.55; Fe₂O₃ (общ.) – 4.68; MnO – 0.10; MgO – 4.35; CaO – 4.5; Na₂O – 2.49; K₂O – 2.07; P₂O₅ – 0.10; п. п. п. – 11.37 Σ – 99.88. Дополнительно этим же методом были определены концентрации (в г/т): Ba – 388; Cr – 246; Ni – 108.

Петрографическое изучение в проходящем свете выявило интенсивные метасоматические изменения (рис. 3).

Максимальное количество тонко- и крупночешуйчатой слюды, в том числе Cr–V-содержащего мусковита и фуксита, – 2–3 %; пироксены и амфиболы полностью замещены хлоритом (рис. 3 а); также прослеживаются карбонат-альбитовые изменения (рис. 3, а), карбонат, предположительно анкерит; встречены скопления – эпидота, турмалина (рис. 3, в), а также идиоморфные вкрапленники рудных минералов – черные (рис. 3, д–е). Прожилки кварца пересекают метасоматит (рис. 3, е). Реликтовый кварц в метасоматите отличается высокой флюидонасыщенностью (рис. 3, ж).

Состав зеленого мусковита – «фуксита» исследован микрорентгеноспектральным анализом (рис. 3, з; табл. 1):

Представляется, что это светлая слюда – предположительно мусковит (нестехиометричный в условиях метасоматоза) – диоктаэдрического ряда содержит до 1.74 мас. % Cr₂O₃, до 0.21 мас. % V₂O₃. Один из анализов (с концентрацией Cr₂O₃ – 1.74 мас. %) был пересчитан на формулу фуксита и имеет следующий вид:



Состав карбонатов получен на растровом электронном микроскопе (JSM-5610LV, Япония) с энергодисперсионной приставкой (INCA-Energy 450, Великобритания). По результатам СЭМ-ЭДС наиболее распространенный карбонат – анкерит (или железистый доломит?) – Ca(Mg_{0.78} Fe_{0.22})[CO₃]₂, содержит до 0.4 мас. % MnO, реже встречается брейнерит (Mg_{0.5} Fe_{0.46} Ca_{0.04}) CO₃.

По характеру вторичных изменений, химическому составу и повышенным концентрациям Cr, Co и Ni – это предположительно измененная дайка долерита.

Рудная минерализация

Впервые Co–Ni-сульфоарсенидная минерализация на месторождении Дегдекан была выявлена в 1999 г. на участке Верный при описании аншлифов (образцы из К-3, К-7) и позже в 2001 г. при минераграфическом изучении керн-скважин № 15, 24, 25 на том же участке (ООО «Станнолит») на различных интервалах от 57

Таблица 1. Химический состав Cr–V-содержащей слюды из дайки месторождения Дегдекан по данным микрорентгеноспектрального анализа

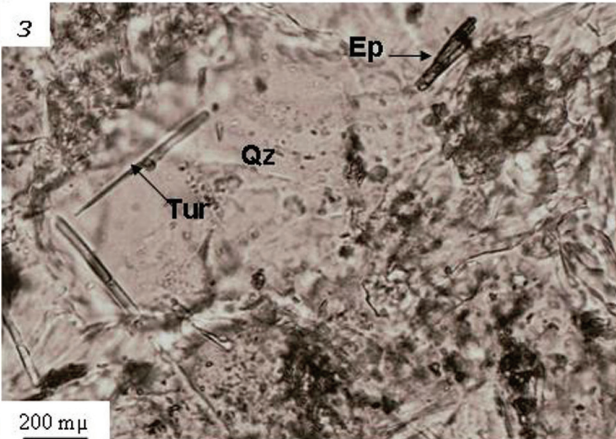
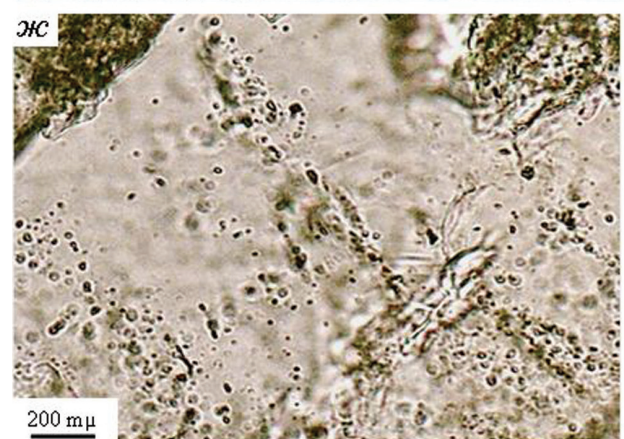
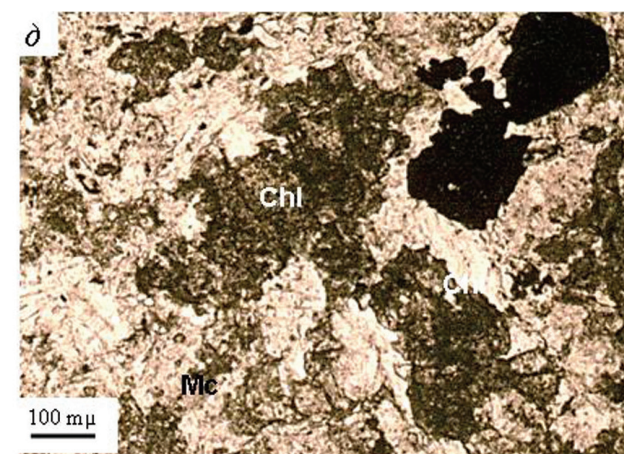
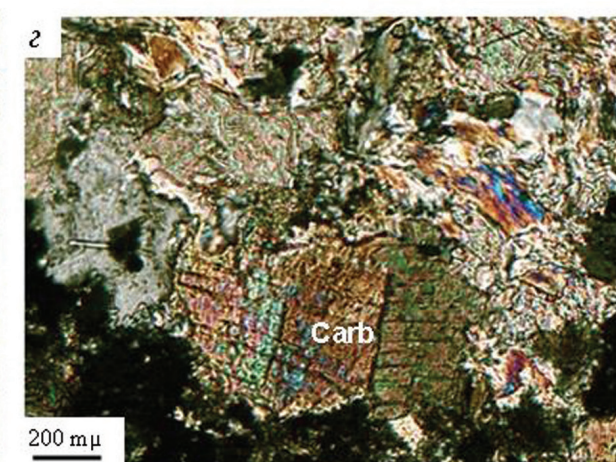
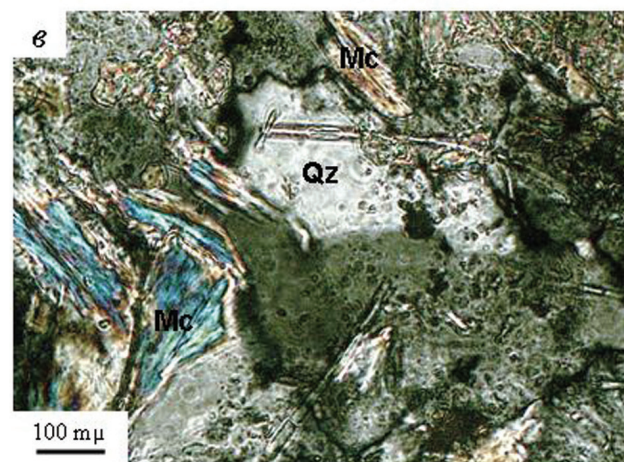
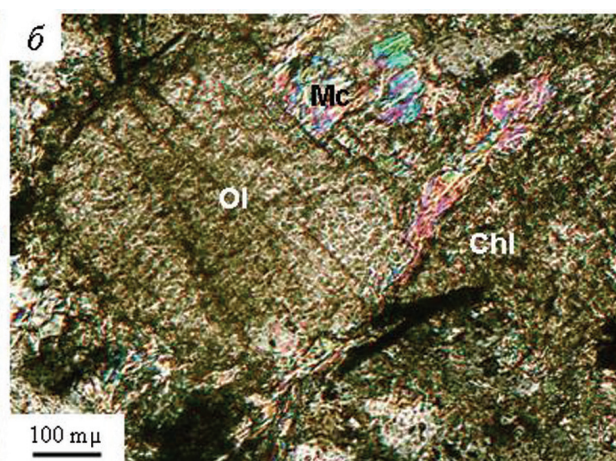
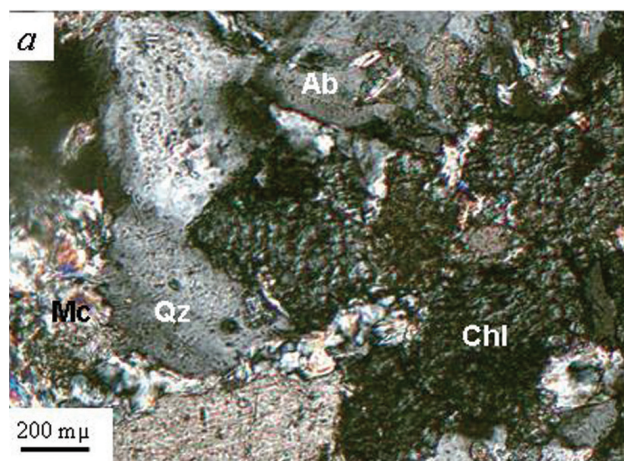
Table 1. Chemical composition of Cr–V-containing mica from the Degdekan deposit dyke according to microroentgenospectral analysis data

Концентрация компонентов, мас. %									
SiO ₂	Na ₂ O	FeO	K ₂ O	V ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	Total
47.83	0.23	0.43	7.04	0.21	33.75	0.98	1.14	0.11	91.780
48.50	0.91	0.35	6.65	0.18	34.49	0.53	1.30	0.06	93.057
47.49	0.22	0.33	6.60	0.19	34.00	0.76	1.74	0.11	91.488

Примечание. Рентгеноспектральный микроанализатор JXA-8200 (JEOL), ЦКП «ИГЕМ-аналитика», аналитик В. И. Таскаев.

Рис. 3. Метасоматит по дайке долеритов: а – хлорит-мусковит-альбитовые изменения; б – вкрапленник оливины в окружении мусковита и хлорита; в – кварц-мусковит-турмалин в метасоматите; г – карбонат-мусковитовые изменения; д–ж – без анализатора: д – вкрапленность хлорита мусковита и рудных минералов (черное), е – секущий прожилок кварца и мобилизация рудного вещества (черное) из метасоматита в прожилок; ж – многочисленные флюидные включения в продуктивном кварце, пересекающем метасоматит; з – кварц, Cr–V мусковит (фуксит), анкерит и арсенопирит в метасоматите (в отраженных электронах).

Fig. 3. Metasomatite by a dolerite dyke: а – chlorite-muscovite-albite alterations; б – olivine impregnation surrounded by muscovite and chlorite; в – quartz-muscovite-tourmaline in metasomatite; г – carbonate-muscovite alterations; д–ж – without analyzer: д – impregnation of muscovite chlorite and ore minerals (black), е – secant quartz vein and mobilization of ore matter (black) from metasomatite into a vein; ж – numerous fluid inclusions in productive quartz crossing the metasomatite; з – quartz, Cr–V muscovite (fuchsite), ankerite, and arsenopyrite in metasomatite (in reflected electrons).



до 201 м от дневной поверхности в метаморфизованных углеродистых алевропесчаниках позднепермского возраста пионерской свиты ($P_{2-3}pn$), периодически отмечалась вкрапленность герсдорфита (Савва, Парфёнов, 2001). (см. табл. 1).

Со–Ni-сульфоарсенидная минерализация приурочена к мелким линзам (от 2×12 до 5×15 мм) карбонат-полевошпатового состава (рис. 4А, а–с), осветленные участки, по существу, являются пятнистыми метасоматическими изме-

нениями алевропесчаников. Обычно подобные линзы на 20–30 % насыщены вкрапленниками полисульфидных минералов с преобладающими размерами 0.5–0.07 мм. Среди вкрапленников установлены пирротин, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, блеклая руда, арсенопирит, сульфоарсениды Co, Ni, Fe. Последние по составу отвечают изоморфному ряду герсдорфит – кобальтин (табл. 2) и отнесены нами к герсдорфиту по классификации Г. А. Крутова (1959).

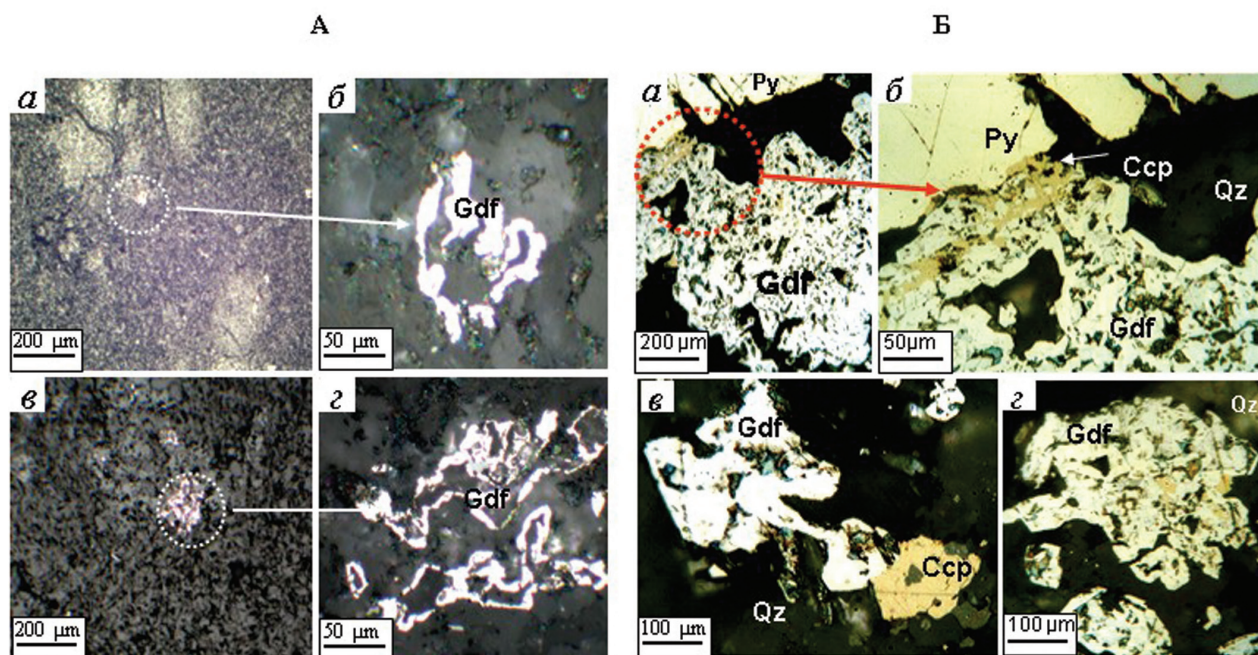


Рис. 4. А – околодайковые изменения и вкрапленность герсдорфита в пермских алевропесчаниках пионерской свиты ($P_{2-3}pn$): а, в – пятнистое осветление гидротермально измененного алевропесчаника; б, з – морфология вкрапленников герсдорфита в алевропесчанике (скв. 15 и 24); Б – рудная минерализация в метасоматически измененной дайке долерита: а–б (при разном увеличении) – герсдорфит в тесной ассоциации с халькопиритом, пирит более ранний, видна слабая коррозия пирита халькопиритом; в – срастание гипидиоморфных кристаллов герсдорфита и халькопирита; з – герсдорфит с мелкими включениями халькопирита.

Fig. 4. А – near-dyke alterations and gersdorffite impregnation in Permian silty sandstones of the Pioneer formation ($P_{2-3}pn$): а, в – spotty clarification of hydrothermally altered silty sandstone; б, з – morphology of gersdorffite impregnations in silty sandstone (Borehole 15 and 24); Б – ore mineralization in a metasomatically altered dolerite dyke: а–б (at different magnifications) – gersdorffite in close association with chalcopyrite, pyrite is earlier, weak corrosion of pyrite by chalcopyrite is visible; в – intergrowth of hypidiomorphic crystals of gersdorffite and chalcopyrite; з – gersdorffite with fine chalcopyrite inclusions.

Таблица 2. Состав Со–Ni-сульфоарсенидов месторождения Дегдекан по данным микрорентгеноспектрального анализа

Table 2. Composition of Co–Ni-sulfoarsenides of the Degdekan deposit according to microrentgenospectral analysis data

Весовые %					Сумма	Формульные коэффициенты				
Fe	S	As	Co	Ni		Fe	S	As	Co	Ni
<i>Герсдорфит (Fe, Co, Ni) (As,S)₂ в дайке</i>										
3.05	21.80	44.38	1.72	29.50	100.44	0.088	0.047	0.811	0.956	1.097
8.35	19.31	44.21	2.18	24.14	98.26	0.250	0.061	0.689	0.989	1.009
2.72	19.33	43.89	0.62	32.62	99.44	0.081	0.017	0.924	0.974	1.0029

Окончание табл. 2

Весовые %					Сумма	Формульные коэффициенты				
Fe	S	As	Co	Ni		Fe	S	As	Co	Ni
<i>Герсдорфит (Fe, Co, Ni) (As,S)₂ в дайке</i>										
3.15	19.78	46.81	1.71	29.39	101.16	0.093	0.047	0.821	1.025	1.0126
4.74	19.47	44.97	1.50	28.72	99.62	0.141	0.042	0.812	0.996	1.008
5.75	19.55	45.51	1.95	26.77	99.71	0.171	0.055	0.756	1.007	1.011
2.94	19.56	45.35	1.17	31.01	100.30	0.087	0.033	0.872	1.000	1.008
4.34	19.55	45.43	1.56	28.89	100.01	0.128	0.044	0.814	1.003	1.009
<i>Герсдорфит (Fe, Co, Ni) (As, S)₂ в черносланцевых толщах</i>										
12.63	20.46	42.72	5.00	18.97	99.79	0.368	0.044	0.814	0.928	1.009
13.95	19.29	42.46	6.43	17.52	99.66	0.410	0.138	0.526	0.931	1.039
12.02	20.71	42.46	4.58	20.49	100.27	0.348	0.179	0.490	0.917	0.988
11.16	20.25	43.05	10.12	16.01	100.59	0.324	0.126	0.565	0.932	1.044

Примечание. CFMEBAX, аналитики М. И. Парфёнов, Е. М. Горячева, О. Т. Соцкая (АЦ СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан).

В дорудной дайке долеритов (образцы 2009 г.) отмечаются многочисленные относительно крупные выделения герсдорфита размером от 0.3 до 1.5 мм, которые тесно сростаются с пиритом, пирротинном и халькопиритом (рис. 4Б). Состав герсдорфита, определенный микрорентгеноспектральным анализом (табл. 2), полностью отвечает формульным значениям, но отличается пониженной железисто-

стью по сравнению с герсдорфитом в осадочной толще.

Методом атомной абсорбции в пробах из метасоматически измененной дайки долеритов установлены не только повышенные концентрации Ni, Co, Fe, но также Pt и Pd (табл. 3); другие платинометалльные элементы не определялись.

Спектральный эмиссионный количественный анализ ЭКСА подтвердил эти данные (табл. 4).

Таблица 3. Концентрация рудных компонентов в составе дайки долеритов по данным атомно-абсорбционного анализа, г/т

Table 3. Concentration of ore components in the dolerite dyke according to atomic absorption analysis data, g/t

Химический элемент	Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Ni	Co	Sb	Cd	Pt	Pd
Концентрация г/т	0.68	2.14	21.0	68.1	12.2	86.4	14.8	60	1.20	1.8	0.27

Примечание. HITACHI, аналитик В. П. Колесова (АЦ СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан).

Таблица 4. Концентрация рудных компонентов в составе дайки долеритов по данным количественного спектрального анализа ЭКСА, г/т

Table 4. Concentration of ore components in the dolerite dyke according to the quantitative spectral analysis data of the emission quantitative spectral analysis, g/t

Химический элемент	Концентрация г/т	Химический элемент	Концентрация г/т	Химический элемент	Концентрация г/т
Al	2.42	Ge	0.266	Zr	20.92
Sb	0	Bi	1.12	Ag	25.37
Mg	1.29	Ba	24.41	Zn	256.11
Pb	59.52	Be	1.21	Ti	0.325
Cr	296.86	Nb	0.827	Sc	1.67
As	5.35	Mo	33.34	Ni	101.56
Mn	0.222	Sn	0.3	Co	76.39
Ga	22.38	Ca	4.04	Pt	1.3
W	0.238	Li	13.01	Pd	0.216
Fe %	27.87	Cu	109.53		

Примечание. Спектральный ЭКСА, аналитик Т. П. Козырева (АЦ СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате детального исследования долеритовой дайки можно предположить, что при слабой проницаемости углефицированных осадочных пород пионерской свиты ($P_{2-3}pn$) дайка могла служить флюидоподводящим каналом для рудообразующих растворов. Об этом свидетельствует высокая флюидонасыщенность обломочного пострудного кварца в дайке (рис. 3, ж). Наблюдалась также мобилизация рудного вещества из метасоматически измененного долерита в секущий кварцевый прожилок (рис. 3, е). Околодайковые изменения с привнесом Ni и Co отмечались ранее в разведочных канавах и скважинах месторождения Дегдекан (рис. 4А). Наличие в пробах не только Ni и Co, но также Pt и Pd (табл. 3, 4) указывает на долериты как на возможный источник этих элементов. Сравнение состава герсдорфита в дайке долеритов и в терригенных породах (табл. 2) показывает, что в последних в этом минерале значительно возрастает содержание Fe и снижается Ni.

Следует отметить, что в геолого-генетической модели М. Н. Чернышовой (1999, 2006) формирования платино-медно-никелевых и никель-кобальтовых руд в дайково-жильных комплексах и метасоматитах Воронежского кристаллического массива базитовые дайки выступают в качестве рудоподводящих каналов в зонах мантийных плюмов.

На участке Верный месторождения Дегдекан мы видим во многом аналогичную модель образования дайково-рудного комплекса, где в дайке долеритов аналитически установлены Pt и Pd, а **Co–Ni-сульфоарсенидная минерализация** отмечается как в самой дорудной дайке долеритов (рис. 4Б), так и в гидротермально измененном, околодайковом пространстве (рис. 4А). Ранее показано (Горячев и др., 2011), что в околодайковом пространстве наряду с герсдорфитом присутствует и тонко рассеянная PGE минерализация.

Таким образом, дайка долеритов могла служить флюидоподводящим каналом, связанным на глубине с базитовым интрузивом – источником PGE и Ni–Co минерализации Дегдеканского месторождения.

Работа выполнена в рамках тем Госзадания СВКНИИ ДВО РАН и ИГЕМ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Гончаров В. И., Ворошин С. В., Сидоров В. А. Платиноносность золоторудных месторождений в черно-

сланцевых толщах Северо-Востока России: проблемы и перспективы // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. Москва: Геоинформмарк, 1995. Т. 2. Кн. 2. С. 156–161.

Горячев Н. А., Соцкая О. Т., Горячева Е. М., Михалицына Т. И., Маньшин А. П. Первая находка минералов платиновой группы в черносланцевых золотых рудах месторождения Дегдекан на Северо-Востоке России // Доклады Академии наук. 2011. Т. 439. № 1. С. 79–82.

Крутов Г. А. Месторождения кобальта // Рудные месторождения СССР. Москва: Недра, 1974. Т. 2. С. 75–98.

Литвиненко И. С. Рассыпеобразующие свойства золотого оруденения участка «Верный» Дегдеканского месторождения в черносланцевых толщах (Магаданская область) // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2023. Т. 68. Вып. 3. С. 580–595/ DOI: 10.21638/spbu07.2023.308.

Михайлов Б. К., Стружков С. Ф., Наталенко М. В., Цымбалюк Н. В. Многофакторная модель крупнообъемного золоторудного месторождения Дегдекан (Магаданская область) // Отечественная геология. 2010. № 2. С. 20–31.

Савва Н. Е., Парфёнов М. И. Co–Ni минерализация золото-сульфидно-вкрапленных руд месторождения Дегдекан // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. Т. 2. С. 78–81.

Савчук Ю. С., Волков А. В. Структурно-вещественная модель размещения золоторудных месторождений Центрально-Колымского региона // Литосфера. 2022. Т. 22. № 1. С. 101–117.

Стружков С. Ф., Наталенко М. В., Цымбалюк Н. В. Уникальные золоторудные регионы Витватерсранд (ЮАР) и Центрально-Колымский (Россия) – сопоставительный анализ // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2009. № 4. С. 72–81.

Ханчук А. И., Плюснина Л. П., Никитенко Е. М., Кузьмина Т. В., Баринев Н. Н. Распределение благородных металлов в черных сланцах золоторудного месторождения Дегдекан (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология. 2011. № 30. Вып. 2. С. 3–11.

Чернышова М. Н. Дайки мамонского никеленосного комплекса и их соотношение с оруденением. Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 1999. 121 с.

Чернышова М. Н. Сульфидные платино-медно-никелевые и никель-кобальтовые руды в дайково-жильных комплексах и метасоматитах Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) // Литосфера. 2006. № 3. С. 71–82.

Voroshin S. V., Tyukova E. E., Gibsher N. A. Metamorphism of sulfides and gangue quartz at the Degdekan and Gol'tsovsky gold deposits, Magadan Oblast // Geology of Ore Deposits. 2006. Vol. 48. No. 3. P. 215–236.

Поступила в редакцию 15.05.2024.

Поступила после доработки 23.05.2024.

CO–NI–SULFOARSENIDE MINERALIZATION OF THE DEGDEKAN GOLD DEPOSIT (North-East of Russia)

N. E. Savva¹, A. V. Volkov², N. V. Sidorova²

¹ North-Eastern Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo, FEB RAS, Magadan

² Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry, RAS, Moscow

The results of mineralogical and geochemical studies of a metasomatically altered dolerite dyke, identified on the southeastern flank (Verny site) of the Degdekan gold deposit, are considered. Higher concentrations of Ni, Co, Cr, Pt, and Pd, as well as the widespread development of Cr–V-muscovite (fuchsite) and nest clusters of Co–Ni–sulfoarsenide – gersdorffite, have been established in metasomatites. Based on the studies performed, the transportation channels and sources of Ni, Co, Pt and Pd in the ores and host rocks of the deposit have been assumed.

Keywords: North-East of Russia, Degdekan deposit, fuchsite, gersdorffite, gold, PGE, nickel, cobalt, chromium.

REFERENCES

- Chernyshova, M. N., 1999. Dykes of the Mamon Nickel-Bearing Complex and Their Correlation with Mineralization. Voronezh, Voronezh State University [In Russian].
- Chernyshova, M. N., 2006. Sulfide Platinoid-Copper-Nickel and Nickel-Cobalt Ores in Dyke-Vein Complexes and Metasomatites of the Voronezh Crystalline Massif (Central Russia). *Lithosphere*. 3, 71–82.
- Goncharov, V. I., Voroshin, S. V., Sidorov, V. A., 1995. Platinum-Bearing Gold Deposits in the Black Shale Strata of the North-East of Russia: Problems and Perspectives, *Platinum in Russia. Development Problems of the Platinum Metals Resource Base*. Moscow, Geoinformmark, 2 (2), 156–161 [In Russian].
- Goryachev, N. A., Sotskaya, O. T., Goryacheva, E. M., Mikhailitsyna, T. I., Manshin, A. P., 2011. The First Find of Platinum Group Minerals in the Black Shale Gold Ores of the Degdekan Deposit in the North-East of Russia, *Proceedings of the Academy of Sciences*. 439 (1), 79–82 [In Russian].
- Khanchuk, A. I., Plyusnina, L. P., Nikitenko, E. M., Kuzmina, T. V., Barinov, N. N., 2011. Noble Metal Distribution in Black Shales of the Degdekan Gold Ore Deposit (Northeast Russia), *Russian Journal of Pacific Geology*. 5 (2), 89–96.
- Krutov, G. A., 1974. Cobalt Deposits, *Ore Deposits in the USSR*. Moscow, Nedra, 2, 75–98 [In Russian].
- Litvinenko, I. S., 2023. Placer-Forming Properties of Gold Mineralization of the “Verny” Site of the Degdekan Deposit in the Black Shale Strata (Magadan Oblast), *Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences*. 68 (3), 580–595. DOI: 10.21638/spbu07.2023.308 [In Russian].
- Mikhailov, B. K., Struzhkov, S. F., Natalenko, M. V., Tsybalyuk, N. V., 2010. Multi-Factor Predictive Exploration Model for the Gold Bulk-Tonnage Degdekan Deposit (Magadanskaya Oblast), *Otechestvennaya Geologiya*. 2, 20–31 [In Russian].
- Savchuk, Yu. S., Volkov, A. V., 2022. Structural-Material Model of Gold Deposit Location in the Central Kolyma Region, *Lithosphere (Russia)*. 22 (1), 101–117 [In Russian].
- Savva, N. E., Parfyonov, M. I., 2001. Co–Ni Mineralization of Gold-Sulfide-Dispersed Ores of the Degdekan Deposit, *Problems of Geology and Metallogeny of North-east Asia at the Turn of the Millennium*. Magadan, NEISRI FEB RAS, 2, 78–81 [In Russian].
- Struzhkov, S. F., Natalenko, M. V., Tsybalyuk, N. V., 2009. Unique Gold Regions of Witwatersrand, SA, and Central Kolyma, Russia – A Comparative Analysis, *Mineral Resources of Russia. Economics and Management*. 4, 72–81 [In Russian].
- Voroshin, S. V., Tyukova, E. E., Gibsher N. A., 2006. Metamorphism of Sulfides and Gangue Quartz at the Degdekan and Gol'tsovsky Gold Deposits, Magadan Oblast, *Geology of Ore Deposits*. 48 (3), 215–236.