



**СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЮГО-ЗАПАДНЫХ ФЛАНГОВ  
ТАЛНАХСКОЙ РУДОФОРМИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ**

**Л. К. Мирошникова, А. Ю. Мезенцев, Н. В. Семенякина**

*Норильский государственный индустриальный институт,  
E-mail:norvuz.ru, ул. 50 лет Октября 7а, Норильск 663305, Россия*

Рассмотрены вопросы металлогенического моделирования рудообразующих систем в поисковых целях при исследовании флангов и глубоких горизонтов разрабатываемых месторождений. Объектом исследования является анализ геолого-геохимических условий рудонакопления различного минерального состава и концентрирования полезных компонентов в различных сечениях Талнахской рудоформирующей системы. Минеральная и геохимическая зональности месторождений отражают степень контаминации первичных силикатных и магматических расплавов коровым материалом. На западном и южном флангах рудоформирующей системы рудная минерализация представлена низкосернистыми ассоциациями минералов группы халькопирита и специализирована на Cu – Ni – Co. Исследование геохимии изотопов  $\delta^{34}\text{S}$ ,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ,  $\delta^{65}\text{Cu}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  дает основание предполагать, что процесс рудообразования на флангах Талнахской рудоформирующей системы происходит при интенсивном влиянии корового компонента (источник серы эвапоритовые породы) и близповерхностных вод на флюидную составляющую фракционированной плавлением сульфидной магмы, обогащенной медью, в результате чего образовались руды с халькопиритовым типом минерализации.

*Таймыро-Норильская металлогеническая провинция, рудоформирующая система, плутогенно-магматическая формация, платино-медно-никелевые руды*

**STRUCTURAL AND MATERIAL ANALYSIS OF THE SOUTH-WESTERN FLANKS  
OF THE TALNAKH ORE FORMING SYSTEM**

**L. K. Miroshnikova, A. Yu. Mezentsev, and N. A. Semenyakina**

*Norilsk State Industrial Institute, E-mail: norvuz.ru,  
ul. 50 years of October 7a, Norilsk 663305, Russia*

The issues of metallogenetic modeling of ore-forming systems for search purposes when studying flanks and deep horizons of the mined deposits are considered. The object of the study is the analysis of geological and geochemical conditions of ore accumulation of various mineral composition and the concentration of useful components in various sections of the Talnakh ore-forming system. Mineral and geochemical zoning of the deposits reflect the degree of contamination of primary silicate and magmatic melts with crustal material. On the western and southern flanks of the ore-forming system, ore mineralization is represented by low-sulfur associations of chalcopyrite minerals and is specialized in Cu – Ni – Co. A study of the geochemistry of isotopes  $\delta^{34}\text{S}$ ,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ,  $\delta^{65}\text{Cu}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  suggests that the process of ore formation on the flanks of the Talnakh ore-forming system occurs under intense influence of the crustal component (sulfur source evaporite rocks) and near-surface water on the fluid component fractionated by sulphide fusion enriched with copper, resulting in the formation of ores with chalcopyrite type of mineralization.

*Taimyr-Norilsk metallogenic province, ore-forming system, plutogenic-magmatic formation, platinum-copper-nickel ores*

В Таймыро-Норильской металлогенической провинции, кроме уникальных по запасам и ресурсам меди, никеля, платины, палладия месторождений Норильско-Хараелахской зоны, полагаются и другие менее изученные рудные объекты плутогенной магматической формации

с платиновой минерализацией. Структурно-вещественный анализ геоструктурных позиций, геохимической специализации руд, возраста и генезиса рудообразующих систем позволит создать эталонную металлогеническую модель, признаки и критерии которой возможно использовать при изучении потенциала областей перспективных на платиноидно-медно-никелевое оруденение не только на флангах обрабатываемых месторождений и других потенциально рудоносных площадях [1 – 5].

Таймыро-Норильская металлогеническая провинция находится на крайнем северо-западе древней дорифейской Сибирской платформы в месте ее сопряжения с перикратонным Енисей-Хатангским прогибом и Западно-Сибирской плитой. В период от протерозоя до мезозоя краевые части платформы формировались в условиях перикратонного опускания. Позднепалеозойская субдукция Западно-Сибирской океанической плиты под Сибирскую платформу инициировала активизацию мантийного плюма, которая 251 млн лет назад вызвала формирование трапповой платобазальтовой формации и связанными с ней месторождений сульфидных платиносодержащих медно-никелевых руд [6]. Кроме того, в ходе субдукции в осадочные толщи чехла платформы были привнесены массы воды, которые впоследствии взаимодействовали с флюидонасыщенными магматическими расплавами и обогащали их серой и галогенидами [2].

Очаговые магматические зоны выделяются в ранге структурно-металлогенических зон: Норильско-Хараелахской, Кетско-Кыстыктахской, Хантайско-Горбиячинской, Курейско-Северореченской и др. В структурном отношении данные металлогенические зоны представляют собой прогибы и впадины.

Норильско-Хараелахская металлогеническая зона (НХМ), выделенная в юго-западной Таймыро-Норильской провинции, расположена в пределах тройного сочленения континентальных рифтов и характеризуется исключительно высокой плотностью дизъюнктивных дислокаций, определявшей чрезвычайно высокую флюидо-магматическую проницаемость земной коры.

Основной рудоконтролирующей и рудовмещающей структурой металлогенической зоны являются Норильско-Хараелахский прогиб — малый рифтовый трог, который в современных условиях картируется как желобообразный прогиб, ограниченный листрическими сбросами. В результате смены режима растяжения на режим сжатия, прогиб был осложнен поперечными антиклиналями на серию более мелких впадин, среди которых наибольшее металлогеническое значение имеют Хараелахская (ХВ) и Норильская (НВ), разделенные куполовидным Кайеркан-Пясинским поднятием (ПКП). Каждая из данных структурных форм содержит по две мульды: первая — Хараелахскую и Иконскую, вторая — Норильскую и Вологочанскую. В юго-западной оконечности Хараелахской и северо-западной Норильской расположены уникальные месторождения сульфидных платиносодержащих медно-никелевых руд Талнахского и Норильского рудных полей.

К дизъюнктивным рудоконтролирующим структурам Норильско-Хараелахской металлогенической (НХМ) зоны относится Норильско-Хараелахский долгоживущий разлом глубокого заложения, который трассируется в направлении осевой части прогиба, к которому приурочены рудоносные интрузии. Группируясь, интрузии формируют рудообразующие системы (РС) — рудные поля (рудные узлы) пучкового типа. НХМ зона представлена двумя рудными узлами (рудных поля): Норильским (НРУ) и Талнахским (ТРУ), которые являются участками концентрации наиболее дифференцированных трапповых интрузивов повышенной основности. Сульфидное медно-никелевое с платиноидами оруденение пространственно и генетически связано с рудовмещающими структурами — дифференцированными интрузиями габбродолеритов норильско-талнахского типа. Геологическим эквивалентом месторождений является полнодифференцированная зона рудоносного интрузива, в разрезе которого присутствуют пикритовые и такситовые габбродолериты.

В Талнахском рудном узле выделены два месторождения: Октябрьское, приуроченное к Хараелахской интрузии и Талнахское, связанное с одноименной интрузией. Норильский рудный узел (НРУ) представлен месторождениями Норильск-I и Норильск-II, выделенных в границах Норильской интрузии. Согласно определению абсолютного возраста интрузий К – Ag методом устанавливается следующая последовательность их внедрения: Талнахская  $249.4 \pm 1.5$ , Хараелахская  $248.0 \pm 1.6$ , Норильск-1 от  $246.2 \pm 2.2$  млн лет, что соответствует раннему триасу [5, 7]. Следовательно можно предположить, что для каждого месторождения существовали индивидуальные особенности проявления магматизма и наличие собственных очаговых зон регенерации рудных формаций.

Ведущей рудной формацией рудных узлов является плутоногенная магматическая с месторождениями сульфидных платиносодержащих медно-никелевых руд, которые содержат около 60 % мировых запасов Pd и 15 % запасов Pt, заметную долю запасов Cu, Ni, Co, Se, Ag и Au России [3]. Рудоносная зона месторождений имеет многоярусное строение. Промышленные типы руд представлены тремя сортами: вкрапленным оруденением, залежами сплошных (массивных руд с содержанием сульфидов более 70 %) и прожилково-вкрапленным.

Вкрапленные руды, образовались в результате сегрегации сульфидов из сульфидно-силикатного магматического расплава в ходе гравитационной дифференциации и кристаллизации в магматической камере и локализуются в нижних дифференциатах интрузивного тела: пикритовых, такситовых и контактовых габбродолеритах. Источником рудообразования сплошных массивных руд являются сульфидные флюидизированные магмы. Генезис прожилково-вкрапленного сульфидного платиноидо- никель-медного оруденения метаморфо-метасоматический.

Структурные позиции месторождений Норильской и Талнахской рудообразующих систем (ТРС) одинаковы и определяются их приуроченностью к “высоким” бортам Пясинского куполовидного поднятия. Внешними структурными ограничениями ТРС, являются поднятые крылья флексур и осевые линии антиклиналей, поперечные к простираению зоны НХР и оси Хараелахской мульды. Главной магмо-рудоконтролирующей структурой является НХР. Сопоставление простираения инвариантных линий максимальных мощностей интрузивных тел и их морфоструктурных элементов с осями отрицательных пликативных структур показывает, что последние были наиболее активными магмоконтролирующими структурами, при этом замковые части синклинальных складок являются магмалокализующими. Антиклинали среднепалеозойского-нижнемезозойского возраста ограничивали распространение магматических масс. Условия залеганий рудных тел месторождений различны: от приповерхностных до глубины 1400 м.

Месторождения НХМ зоны залегают в различных литологических толщах: рудоносные интрузивы Норильского рудного узла локализованы в карбон-пермских терригенных отложениях тунгусской серии и в основании базальтовой толщи верхней перми — нижнего триаса, Октябрьское месторождение ТРУ, приуроченное к Хараелахскому интрузиву, — среди сульфатно-карбонатных отложений девона, Талнахское месторождение — в терригенных угленосных отложениях карбона-перми и частично в хемогенных породах девона. Несмотря на общность генезиса рудных формаций рудообразующих систем в различных их сечениях наблюдаются индивидуальные особенности геолого-геохимических обстановок формирования рудного вещества. На основе анализа изотопно-геохимических данных установлено, что степень контаминации мантийных магм Талнахского рудного узла более высокая, чем Норильского (табл. 1). Свойства рудной минерализации в месторождениях Талнахского рудного узла меняются от центральных к фронтальным зонам рудоносных интрузий (табл. 2).

Хараелахский интрузив расположен в западном борту Норильско-Хараелахского разлома и локализуется в отложениях нижнего-среднего девона опущенного крыла флексурной складки, ориентированной по нормали к разлому. Талнахский интрузив приурочен к синклинали нижнедевонского заложения, которая прослеживается вдоль НХР. Основная часть Талнахского инт-

рузива, располагается к востоку от разлома (Северо-Восточная ветвь), а его Юго-Западная ветвь — в Центральном грабене в зоне разлома. Вмещающие породы представлены в основном алюмосиликатными терригенными отложениями карбона-перми и карбонатными породами верхнего девона.

ТАБЛИЦА 1. Распределение изотопов He, Ar и S в рудоносных интрузивах Норильского и Талнахского рудных узлов

Интрузии	Возраст, млн лет	<sup>3</sup> He/ <sup>4</sup> He Мантйный гелий	Доля атмосферного аргона	$\delta^{34}\text{S}$ коровая
Норильск-1	246.2 ± 2.2	3.7	98.9	7.5 – 9.5
Хараелахская	248.0 ± 1.6	0.17	88.3 – 92	12 – 14
Талнахская	249.4 ± 1.5	2.7	94 – 98	9,5 – 12

Контрастная геохимическая зональность рудной зоны на уровнях рудного узла и месторождений основывается на закономерностях распределения значений отношения Ni/Cu, S/Cu и коэффициента разделения  $K_p = (\text{Pt} + \text{Pd}) / (\text{Ru} + \text{Ir} + \text{Os})$ , отражающих процесс рудообразования в условиях фракционирования сульфидного расплава, характерного для сульфидных медно-никелевых с платиноидами руд норильских месторождений [8].

ТАБЛИЦА 2. Минеральная и геохимическая зональность рудоносной зоны в различных сечениях Талнахской рудообразующей системы

Расположение рудных тел	Ni/Cu	Kp	Минералогический состав руд, геохимическая специализация
Северная фронтальная зона Талнахской интрузии, Талнахское месторождение	0.9	23	Промежуточная ассоциация. Пирротин-кубанитовая минерализация, специализация Ni – Cu – Co
Центральная часть Талнахской интрузии, Талнахское месторождение	1.6	10	Высокосернистая ассоциация (S/Cu = 7.0 – 9.0): пирротин (моноклинный и гексагональный) + халькопирит + пентландитовая. Специализация Ni – Cu – Co
Юго-западная фронтальная зона Талнахской интрузии, Талнахское месторождение	0.2	120	Низкосернистая ассоциация (S/Cu = 1.8): халькопирит, борнит, ковеллин, халькозин. Специализация Cu – Ni – Co
Центральная часть Хараелахского интрузива, Октябрьское месторождение	0.9	40 – 70	Промежуточная ассоциация (S/Cu до 4.2): халькопирит + пирротин (моноклинный и гексагональный) + пентландит + кубанит. Специализация Ni – Cu – Co (Cu = Ni – Co)
Юго-западная фронтальная зона Хараелахской интрузии, Октябрьское месторождение	0.2 – 0.7	167 – 1750	Низкосернистая минеральная ассоциация (S/Cu до 2.7): кубанит + халькопирит + пентландит → талнахит (моихукит) + кубанит + пентландит. Специализация Cu – Ni – Co

Минеральный состав и геохимическая специализация контактовых ореолов рудоносных интрузий ТРМС, залегающих в породах различного литологического состава, значительно отличаются. Верхний контактовый ореол Талнахской интрузии сложен кварц-полевошпатовыми роговиками, которые маркируются аномалиями Zr. Верхний контактовый ореол рудоносной Хараелахской интрузии, локализованной в сульфатно-карбонатных отложениях мантуровской свиты, картируется аномалиями Sr [9].

На западной фланге Октябрьского месторождения высококонтрастные аномалии Sr ( $KK = 35$ ) пространственно сопряжены с аномалиями Ag – Cu – Ni (или Cu – Ag – Ni) рудных тел с халькопиритовым типом сульфидной минерализации, в которой отмечаются экстремально высокие для месторождения содержания Pt до 9 – 12 г/т, Pd – 43 – 60 г/т и Ag до 13.34 г/т, формирующих метаморфно-гидротермальную минерализацию Ag – Pd – Pt [10, 11].

Присутствие аномалий стронция в верхнем контактовом ореоле интрузии, локализованной в сульфатно-карбонатных породах, обусловлено образованием в постмагматическую гидротермальную стадию минералов гидротермалитов (ангидритофиров и целестина) [12]. Предполагается, что на формирование минералообразующих флюидов большое влияние оказывали близповерхностные воды из вмещающих интрузию отложений.

Изотопы стронция. Величина  $\epsilon_{\text{Sr}}$  для норильских ангидритов из вмещающей интрузию толщи скорее всего соответствует девонской морской воде, где  $\epsilon_{\text{Sr}}$  примерно равен +45 до +60, что отличается от значений  $\epsilon_{\text{Sr}}$  (+20) в интрузиях норильского типа во время их внедрения. Отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  равные 0.707 и ниже наблюдаются в ультраосновных породах интрузий. В сульфидах руд краевой западной части Хараелахской интрузии значения отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  колеблются в интервале от 0.708–0.709 до 0.7116, превышая  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в интрузивных породах. Можно предположить, что в процессе рудообразования происходило значительное влияние корового компонента (эвапоритовые породы) с высокими концентрациями радиогенного стронция на мантийную составляющую флюида, т. е. на постмагматической стадии в ходе гидротермального процесса радиогенный стронций был привнесён из вмещающих пород в приконтактные зоны интрузива уже после кристаллизации магматических пород, что привело к образованию аномалий стронция с повышенными концентрациями Zn, Mo, Sn в контактовых ореолах [9].

Зональное распределение изотопов серы, аргона и меди в магматических породах интрузий и руд Талнахской рудномагматической системы рассматривается в направлении с северо-запада на юго-восток по падению тела Хараелахского интрузива.

По данным изотопных исследований [7] в верхах разреза интрузии западного фланга рудоносной Хараелахской интрузии, в роговиках и метасоматитах с ангидритом и кальцитом содержание изотопно тяжелой серы  $\delta^{34}\text{S}$  от 11.4‰, до 12.8‰. В прожилково-вкрапленных рудах  $\delta^{34}\text{S} = 11.4\%$ , во вкрапленных 12.6‰ и в массивных от 12.6‰, до 12.8‰, что близко к значениям  $\delta^{34}\text{S}$  равным 15–18‰ (в среднем 16.5‰) в ангидритах. Эти данные указывают на существенный вклад в рудообразование серы сульфатов осадочной толщи. По мере удаления в юго-восточном направлении от западных флангов Хараелахской интрузии с обогащенными медью рудами, значения  $\delta^{34}\text{S}$  в сульфидах несколько убывают (от 12.8 до 11.5 ‰) приближаясь к  $\delta^{34}\text{S} = 11.2\%$ , характерному для руд Талнахской интрузии залегающей в терригенных отложениях карбона-перми.

Между изотопными составами серы и меди ( $^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$ ) в рудоносных интрузивах отмечается отрицательная корреляция, т. е. при утяжелении серы наблюдается облегчение меди. В Хараелахской интрузии, где руды обогащены медью величина  $\delta^{65}\text{Cu}$  (–1.55‰), при этом в интрузии Норильск 1 с более мантийной серой  $\delta^{65}\text{Cu}$  (+0.25‰). Низкие значения  $\delta^{65}\text{Cu}$  наблюдаются в условиях образования рудной минерализации в постмагматическую стадию низкотемпературного гидротермального процесса в противоположность высокотемпературным и магматическим условиям рудообразования (месторождения НРУ) [7].

В различных срезах месторождений и Талнахской рудноформирующей системы отличия условий формирования руд иллюстрируются распределением значений соотношения изотопов аргона  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ , позволяющих выявлять долю атмосферной компоненты аргона близповерхностных седиментационных и инфильтрационных вод, участвующих в рудообразовании [7].

В пределах западного фланга Октябрьского месторождения доля изотопного состава аргона во вкрапленных и богатых массивных рудах одинакова и составляет 89–98%. В Центральной и Южной областях месторождения во вкрапленных рудах воздушного аргона гораздо меньше (63%) по сравнению с богатыми рудами (77–97%), что указывает на менее эффективное воздействие близповерхностных вод при формировании магматических вкрапленных руд.

## ВЫВОДЫ

Рудогенерирующим фактором месторождений Норильско-Хараелахской металлогенической зоны является мантийный плюм. Сульфидные платино-медно-никелевые руды месторождений Норильской и Талнахской рудоформирующих систем относятся к плутогенной магматической рудной формации, внутри которой выделены различные типы рудной минерализации. Минеральная и геохимическая неоднородность рудных тел месторождений в различных сечениях Талнахской рудоформирующей системы обусловлена различными факторами формирования рудной минерализации. Одна из причин неоднородности является — отличие в структурно-тектонических условиях расположения рудных тел в различных сечениях рудных узлов и месторождений. Центральные части Октябрьского месторождения располагаются в переуглубленной части Хараелахской мульды (на глубине до 1400 м), юго-западные и западные фронтальные зоны приурочены к флексурным перегибам бортовых поднятий мульды (глубина залегания рудных тел до 750 м), восточная фронтальная зона месторождения примыкает к флексурному перегибу долгоживущего Норильско-Хараелахского разлома, являющимся по своей природе флексуно-сбросом.

Движение магматического расплава в Хараелахской мульде происходило в направлении с севера на юг. Увеличение степени фракционирования сульфидного магматического расплава и обогащения его Cu, Pt, Pd наблюдается в направлении с востока на запад и с севера на юг, т. е. от центральной части месторождений к флангам по восстанию рудоносного интрузива.

Структурами, ограничивающими распространение магматического расплава, насыщенного флюидами, являлись борта палеоподнятий. Здесь в барьерной зоне смешения восходящих и поровых растворов формировались области развития кондуктивного теплообмена и образования “флюидно-тепловых мешков”, где имело место интенсивное проявление гидротермальных процессов. Состав рудной минерализации в данных условиях определялся не только первичным составом рудообразующего магматического расплава, но и его вторичными изменениями в результате интенсивной ассимиляции коровым материалом, происходившей в результате метасоматических процессов в инфильтрационно-гидротермальную стадию. Основанием того, что процесс рудообразования на флангах Хараелахской интрузии происходит при интенсивном влиянии коровой компоненты (источник серы эвапоритовые породы) и близповерхностных вод на флюидную составляющую фракционированной плавлением сульфидной магмы, обогащенной медью, в результате чего образовались руды с халькопиритовым типом минерализации геохимически специализированных на Cu–Ni–Co, является неоднородность распределения изотопов  $\delta^{34}\text{S}$ ,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ,  $\delta^{65}\text{Cu}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Dodin D. A.** Metallogeny of the Taimyr-Norilsk region, St. Petersburg, Nauka, 2002, 813 pp. (in Russian). [Додин Д. А. Металлогения Таймыро-Норильского региона. — СПб.: Наука, 2002. — 813 с.]
2. **Nikulin I. I. and Rad'ko V. A.** Metallogeny of basic magmatic complexes on the example of the Norilsk province, The main problems of geology and ore formation of the Norilsk region, cluster evolution of mineralogy and mineral resources. Smirnov Readings, Moscow, MaksPress, 2019, pp. 147–176. (in Russian) [Никулин И. И., Радько В. А. Металлогения магматических комплексов основного состава на примере Норильской провинции // Проблемы минерогении, экономической геологии и минеральных ресурсов. Ч. 1. Основные проблемы геологии и рудообразования Норильского района, кластерная эволюция минерогении и минеральные ресурсы. Смирновские чтения. — М: МаксПресс, 2019. — С. 147–176.]

3. **Spiridonov E. M.** Genetic model of deposits of the Norilsk ore field, Problems of mineralogy, economic geology and mineral resources, Part 1. The main problems of geology and ore formation of the Norilsk region, cluster evolution of mineralogy and mineral resources. Smirnov Readings, Moscow, MaxPress, 2019, pp. 41–115. (in Russian) [**Спиридонов Э. М.** Генетическая модель месторождений Норильского рудного поля // Проблемы минерации, экономической геологии и минеральных ресурсов. Ч. 1. Основные проблемы геологии и рудообразования Норильского района, кластерная эволюция минерации и минеральные ресурсы. Смирновские чтения. — М.: МаксПресс, 2019. — С. 41–115.]
4. **Tarasov A. V. and Petrov O. P.** Zonalness of industrial copper-nickel deposits of the Norilsk region as a criterion for forecasting the assessment of ore fields, Forecasting and assessing the nickel-bearing of new ore regions in the North of the Siberian Platform, Leningrad, PGO “Sevmorgeology”, 1983, pp. 30–41. (in Russian) [**Тарасов А. В., Петров О. П.** Зональность промышленных медно-никелевых месторождений Норильского района как критерий прогноза оценки рудных полей // Прогнозирование и оценка никеленосности новых рудных районов на Севере Сибирской платформы. — Л.: ПГО “Севморгеология”, 1983. — С. 30–41.]
5. **Dodin D. A. and Tarnovetsky L. L.** Geodynamic model of sulfide-copper-nickel-bearing ore-magmatic systems of the Taimyr-Norilsk province, Geology and Geophysics. 1992, no. 12, pp. 40–51. (in Russian) [**Додин Д. А., Тарновецкий Л. Л.** Геодинамическая модель сульфидно-медно-никеленосных рудно-магматических систем Таймыро-Норильской провинции // Геология и геофизика. — 1992. — № 12. — С. 40–51.]
6. **Kamo S. L., Czamanske G. K., Amelin Yu., Fedorenko V. A., Davis D., and Trofimov V. R.** Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence for coincidence with Permian – Triassic boundary and mass extinction at 251 Ma, Earth and Planetary Science Letters, 2003, vol. 214, pp. 75–91.
7. **Isotopic geology** of the Norilsk deposits, Adamskaya E. V., Badinova V. P., Belyatsky B. V. et al., SPb., VSEGEI, 2017, 348 pp. (in Russian) [**Изотопная геология** Норильских месторождений / Адамская Е. В., Бадинова В. П., Беляцкий Б. В. и др. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2017. — 348 с.]
8. **Miroshnikova L. K.** The study of ore-geochemical zonality of ore bodies of deposits of the Norilsk region, News of Higher Educational Institutions. Geology and exploration, Moscow, Publishing House of the Russian State Humanitarian University, 2014, no. 2, pp. 31–36. (in Russian) [**Мирошникова Л. К.** Исследование рудно-геохимической зональности рудных тел месторождений Норильского района // Изв. вузов. Геология и разведка. — М.: Изд-во РГГУ, 2014. — № 2. — С. 31–36.]
9. **Miroshnikova L. K.** The relationship of strontium anomalies in contact aureoles of ore-bearing intrusions with anomalies of mineralogenic trace elements in industrial horizons of sulfide ores, Bulletin of the Irkutsk State Technical University, 2010, issue 7 (47), Irkutsk, Publishing house of ISTU, pp. 46–52. (in Russian) [**Мирошникова Л. К.** Взаимосвязь аномалий стронция в контактовых ореолах рудоносных интрузий с аномалиями рудогенных микроэлементов в промышленных горизонтах сульфидных руд // Вестник ИргТУ. — 2010. — Вып. 7(47). — Иркутск: Изд-во ИргТУ. — С. 46–52.]
10. **Spiridonov E. M., Serova A. A., Kulikova I. M., Korotaeva N. N., and Zhukov N. N.** Metamorphic-hydrothermal Ag–Pd–Pt mineralization in the Noril’sk sulfide ore deposit, Siberia, Canad. Mineral, 2016, vol. 54, pp. 429–452. [**Спиридонов Е. М., Серова А. А., Куликова И. М., Коротаева Н. Н., Жуков Н. Н.** Метаморфно-гидротермальная минерализация Ag–Pd–Pt в Норильском месторождении сульфидных руд, Сибирь // Канад. Минеральная. — 2016. — Т. 54. — С. 429–452.]
11. **Spiridonov E. M., Belyakov S. N., Yapaskurt V. O., Korotaeva N. N., and Krivitskaya N. N.** Norilsk ore field: direct evidence of the pneumolithic genesis of palladium minerals in solid sulfide ores, New ideas in Earth sciences, 2019, vol. II, pp. 380–383. (in Russian) [**Спиридонов Э. М., Беляков С. Н., Япаскерт В. О., Коротаева Н. Н., Кривицкая Н. Н.** Норильское рудное поле: прямое доказательство пневматолитового генезиса минералов палладия в сплошных сульфидных рудах // Новые идеи в науках о Земле. — 2019. — Т. II. — С. 380–383.]
12. **Turovtsev D. M.** Contact metamorphism of intrusions in the Norilsk region, Moscow, IGEM RAS, 2000, 304 pp. (in Russian) [**Туровцев Д. М.** Контактный метаморфизм интрузий Норильского района. — М.: ИГЭМ РАН, 2000. — 304 с.]