

Научная статья

УДК 553.43'481:556.314(571.51+571.66)

doi:10.52349/0869-7892_2026_105_117-126

**Геолого-гидрогеохимические особенности
медно-никелевых месторождений
Норильского (Восточная Сибирь)
и Шанучского (Камчатка) рудных районов****Д. С. Бородина¹✉, Т. И. Ларионова¹, И. В. Литвинова²**

¹ Научно-исследовательский геотехнологический центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Петропавловск-Камчатский, Россия,
borodinakam@mail.ru ✉

² Вилуйская геологоразведочная экспедиция
акционерной компании «АЛРОСА», Новосибирск, Россия

Ключевые слова: месторождения никеля, гидрогеохимические методы поиска, поисковые критерии, подземные и поверхностные воды, металлогения

Для цитирования: Бородина Д. С., Ларионова Т. И., Литвинова И. В. Геолого-гидрогеохимические особенности медно-никелевых месторождений Норильского (Восточная Сибирь) и Шанучского (Камчатка) рудных районов // Региональная геология и металлогения. 2026. Т. 33, № 1. С. 117–126. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2026_105_117-126

Original article

UDC 553.43'481:556.314(571.51+571.66)

doi:10.52349/0869-7892_2026_105_117-126

Keywords: nickel deposits, hydrogeochemical exploration methods, search criteria, ground and surface water, metallogeny

Аннотация. В целях поиска новых объектов для обеспечения перерабатывающих предприятий медно-никелевыми рудами проведен анализ двух рудных районов с контрастными условиями — Норильского и Шанучского. Обобщены и сопоставлены особенности геологического строения, гидрогеохимические условия и геодинамические обстановки формирования месторождений. Установлено, что месторождения относятся к магматическим сульфидным типам, однако различаются по возрасту и геодинамическим условиям формирования. Подтверждено, что химический состав подземных вод сравниваемых районов отражает различие генетических источников минерализации: в Норильском районе он формируется преимущественно в результате окисления сульфидных руд, а в Шанучском районе определяется воздействием магматических флюидов. Выявленные различия подчеркивают значение гидрогеохимических исследований как инструмента прогноза схожих рудных зон и реконструкции развития рудоносных систем в различных геодинамических условиях. Полученные данные важны для понимания закономерностей формирования рудных систем и позволяют рассматривать гидрохимические параметры в качестве информативных поисковых критериев. Результаты исследований могут быть использованы для наращивания промышленного потенциала действующих месторождений и поиска новых объектов медно-никелевого сырья.

**Geological and hydrogeochemical features
of the Norilsk (East Siberia)
and Shanuch (Kamchatka) ore-bearing districts****D. S. Borodina¹✉, T. I. Larionova¹, I. V. Litvinova²**

¹ Research Geotechnological Center,
Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia,
borodinakam@mail.ru ✉

² Vilyuy Geological Exploration Expedition of ALROSA, Novosibirsk, Russia

Abstract. New object prospecting for providing processing works with copper-nickel ores required analysis of two contrasting ore-bearing districts: Norilsk and Shanuch. The authors summarized and compared geological structure, hydrogeochemical features, and geodynamic conditions of deposit formation. The compared deposits belong to magmatic sulfide types, but differ in age and geodynamic formation conditions. The groundwater chemical composition in the compared areas



For citation: Borodina D. S., Larionova T. I., Litvinova I. V. (2026). Geological and hydrogeochemical features of the Norilsk (East Siberia) and Shanuch (Kamchatka) ore districts. *Regional Geology and Metallogeny*, 33(1), 117–126. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2026_105_117-126

proves to differentiate genetic sources of mineralization: sulfide ore oxidation mainly forms the composition in the Norilsk region, while influence of magmatic fluids determines it in the Shanuch region. The identified differences highlight the importance of hydrogeochemical studies as a tool for predicting similar ore zones and reconstructing development of ore-bearing systems in different geodynamic conditions. The data are critical for understanding ore system formation patterns and consider hydrochemical parameters as informative search criteria. The findings can contribute to augmenting the commercial potential of operating deposits and new copper-nickel object prospecting.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение геологического строения и генезиса медно-никелевых месторождений в различных геодинамических обстановках имеет важное значение для понимания закономерностей формирования рудных систем и прогноза новых объектов. Никель, медь и сопутствующие элементы платиновой группы (Pt, Pd, Rh) относятся к стратегическим компонентам минерально-сырьевой базы, определяющим развитие высокотехнологичных отраслей промышленности. Ресурсная база никелевого сырья на сегодня в значительной степени исчерпана. Сокращение обеспеченности предприятий рудой определяет необходимость выявления новых объектов для разработки. Высокая себестоимость заставляет искать менее затратные методы поисков рудного сырья. Особую перспективность в этом отношении представляют гидрогеохимические методы. Они эффективно применяются в различных ландшафтно-климатических зонах (Перельман, 1966). Для выбора оптимальной методики и способов проведения гидрогеохимических поисков необходимо детальное изучение геологических условий исследуемой территории (Додин и др., 1988). Поэтому изучение геологического строения и гидрогеохимических особенностей медно-никелевых месторождений различных генетических типов остается важным направлением современной металлогении и геохимии рудных систем.

Особый интерес представляют магматические медно-никелевые месторождения платформенных областей и активных континентальных окраин (зоны субдукции), поскольку они отражают различные механизмы формирования рудообразующих флюидов и концентрации рудных элементов. Сравнительный анализ месторождений Норильского и Шанучского рудных районов как представителей вышеуказанных генетических типов позволяет оценить влияние геодинамической обстановки на характер рудной минерализации, состав водных растворов и условия формирования руд.

Таким образом, данная работа направлена на комплексное сравнение геологического строения, генезиса рудных тел и геолого-гидрогеохимических особенностей месторождений Норильского и Шанучского рудных районов для выявления закономерностей и специфических признаков, определяющих их металлогеническую природу, которые должны способствовать поиску аналогичных объектов. Исследование условий формирования никеленосных рудных систем и сопоставление их геохимических признаков в различных геодинамических

обстановках может иметь как фундаментальное, так и прикладное значение (Перельман, 1966).

Открытие медно-никелевых месторождений в Норильском районе началось в 1865 г. Результаты их изучения отражены в трудах М. Н. Годлевского (1968), Д. А. Додина и др. (1988), В. С. Старосельцева (2015) и многих других исследователей. Месторождения Норильского рудного района всесторонне изучены, что обеспечивает их промышленную эксплуатацию. Существенный вклад в развитие Норильского промышленного района внесла Норильская комплексная геологоразведочная экспедиция, организованная в 1955 г. Современные исследования носят уточняющий и оптимизационный характер, фокусируясь на увеличении экономической эффективности и снижении экологического ущерба.

На Камчатке открытие медно-никелевых руд произошло в 1959 г. Значительный вклад в изучение геологии данного района внесли В. Е. Кунгурова, М. Д. Сидоров, В. А. Степанов, Ю. П. Трухин (Трухин и др., 2008, 2009), А. Г. Нурмухамедов и др. (2023), В. А. Полетаев¹, О. Б. Селянгин (2014) и др. В настоящее время продолжается всестороннее изучение месторождений Шанучского района, необходимое для обеспечения их промышленной эксплуатации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу статьи положены результаты анализа и обобщения геологической документации, а также аналитические данные, заимствованные из работ А. И. Перельмана (1966), М. Н. Годлевского (1968), Д. А. Додина, Т. С. Додиной, В. Ф. Кравцова (1988), В. С. Аплонова, А. А. Золотарева (2005) и многих других исследователей.

Сравнительное исследование месторождений Норильского и Шанучского рудных районов направлено на выявление фундаментальных различий по следующим параметрам:

- литолого-структурным и петрографическим особенностям вмещающих пород;
- генетическим механизмам концентрации никеля и меди;
- возрасту и стадийности рудообразования;
- химическому и ионному составу подземных и поверхностных вод, отражающему текущее состояние геохимических процессов.

¹ Полетаев В. А. Камчатская платиноидно-никеленосная зона — геология и рудоносность : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2004. 22 с.

Гидрогеохимические исследования в контрастных геологических условиях позволяют проследить связь между источниками флюидов, степенью участия ювенильных и метеорных вод, а также условиями миграции и осаждения рудных компонентов. Это важно для разработки поисковых критериев и прогнозных моделей никеленосных систем как в пределах древних платформ, так и в структурах, сформированных в условиях аккреционно-коллизивной обстановки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Месторождения Шанучского рудного района расположены в северной части Камчатского Среднего массива и связаны с дайковыми и штоковыми интрузиями базит-гипербазитового состава мощностью от 5 до 150 м (Трухин и др., 2008, 2009) (рис. 1). Несмотря на длительное изучение, интерпретация природы структуры, включающей никеленосные рудные тела (в частности, месторождений

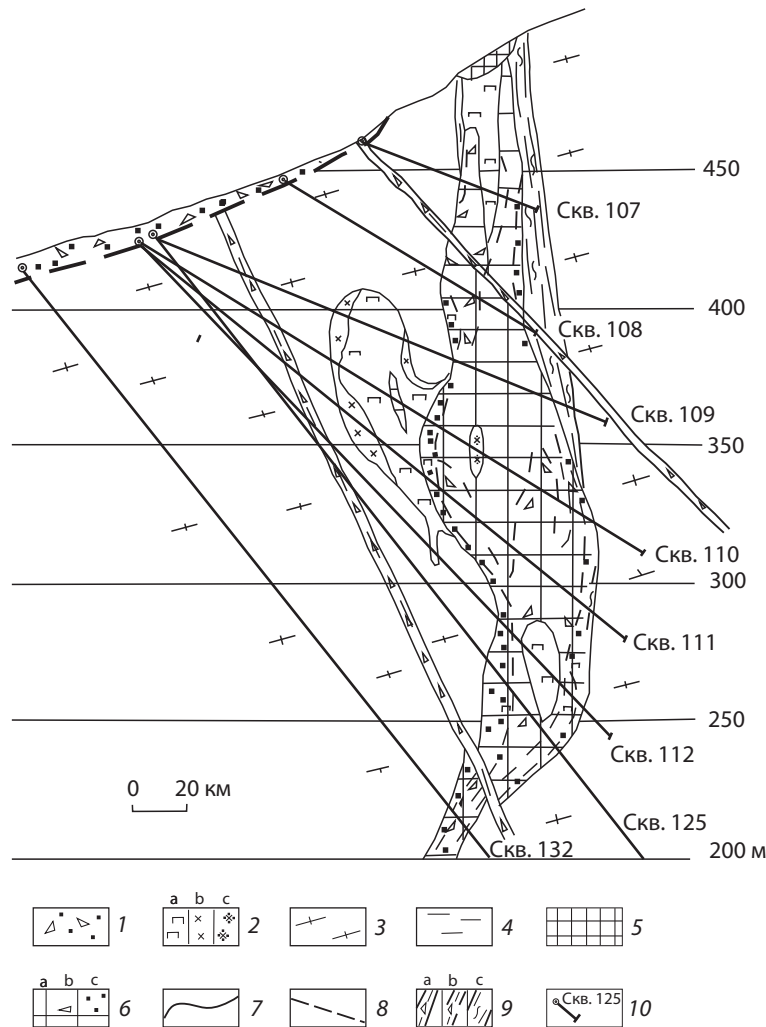


Рис. 1. Схематический геологический разрез по одному из рудных тел Шанучского рудного района

1 — рыхлые четвертичные отложения; 2 — интрузии дукукского комплекса (*a* — амфиболовые габбро, *b* — биотит-амфиболовые меладiorиты, *c* — гранатсодержащие мусковит-биотитовые диориты); 3 — крутогоровский гнейсово-плаггиогранитовый комплекс (гнейсовидные плаггиограниты, гнейсограниты, плаггиограниты); 4 — камчатская метаморфическая серия (кристаллические сланцы гранат-ставролит-биотитового состава); 5 — окисленные руды; 6 — сульфидные медно-никелевые руды (*a* — массивные, *b* — брекчиевидные, *c* — прожилково-вкрапленные и вкрапленные); 7 — геологические границы; 8 — границы между типами руд; 9 — зоны дробления (*a* — достоверные, *b* — предполагаемые, *c* — зоны милонитизации); 10 — скважины
 Источник: по Трухину и др. (2009)

Fig. 1. Schematic geological section through an ore body in the Shanuch ore district

1 — Quaternary loose sediments; 2 — Dukuk complex intrusions (*a* — amphibole gabbro, *b* — biotite-amphibole meladiorite, *c* — garnetiferous muscovite-biotite diorite); 3 — Krutogorovskiy gneiss-plagiogranite complex (gneissose plagiogranite, gneisso-granite, plagiogranite); 4 — Kamchatka metamorphic series (crystalline shale of garnet-staurolite-biotite composition); 5 — oxidized ore; 6 — sulfide copper-nickel ore (*a* — massive, *b* — breccia-like, *c* — veinlet-disseminated and disseminated); 7 — geological boundaries; 8 — ore type boundaries; 9 — crushing zones (*a* — established, *b* — inferred, *c* — mylonitization zones); 10 — wells
 Source: from Trukhin et al. (2009)

Шанучского рудного района), остается неоднозначной. В данной работе авторы придерживаются аккреционно-коллизивной природы этих структур (Нурмухамедов и др., 2023; Селянгин, 2014). В связи с этим далее Срединный Камчатский массив будет именоваться Срединным Камчатским выступом. Медно-никелевое оруденение приурочено к интрузиям кортландит-горнблендит-пироксенит-габбро-диоритовой ассоциации дукукского комплекса¹ (Трухин и др., 2008, 2009). Район характеризуется сочетанием глубинных разломных структур северо-восточного и субмеридионального простирания, вдоль которых происходило внедрение базит-гипербазитовых магм и развитие гидротермальной активности. Генезис месторождений — магматический, с элементами гидротермального перераспределения металлов с мантийным или нижнекоровым источником магмы¹ (Трухин и др., 2008, 2009). Возраст рудоносных интрузивных пород, по данным изотопных (K–Ar и Ar–Ar) определений, оценивается в 48–52 млн лет, что соответствует эоцену. Тип оруденения — магматические сульфидные медно-никелевые тела, залегающие в дайках и штоках¹ (Селянгин, 2014; Трухин и др., 2008, 2009). Вмещающими для рудоносных интрузивов роговообманковых базитов являются метаморфизованные и стратифицированные породы, возраст которых остается дискуссионным (от позднепротерозойского до палеоцен-эоценового). Они представлены серией ультрамафитов и мафитов: дунитами, гарцбургитами, лерцолитами, пироксенитами и габброидами. Метаморфические образования прорваны многочисленными интрузивами гранитоидов палеозойского и мелового возраста¹ (Нурмухамедов и др., 2023; Селянгин, 2014; Трухин и др., 2008).

Анализ петрографических и геохимических исследований материнских магм месторождений Шанучского рудного района показывает, что они имели трансмагматический характер — от толеитовых до слабощелочных базальтоидов, обогащенных магнием, никелем и хромом. Часто наблюдаются следы кристаллизационной дифференциации и сульфидной сепарации, что указывает на возможность локального накопления Cu–Ni-минерализации¹ (Селянгин, 2014; Трухин и др., 2008). В ряде случаев отмечаются участки серпентинизированных ультрамафитов, в которых зафиксированы процессы вторичного обогащения никелем за счет гидротермального перераспределения. Присутствие серпентина, талька, хлорита и магнетита во вмещающих породах свидетельствует о развитии низкотемпературного метасоматоза и циркуляции флюидов, обогащенных CO₂ и F⁻¹ (Трухин и др., 2008).

Минеральный состав руд включает:

— первичные сульфиды — пирротин, пентландит, халькопирит;

— вторичные образования — виоларит, хризотил, лимонит, сидерит и сульфаты железа, возникающие в зоне окисления;

— сопутствующие минералы — магнетит, ильменит, шпинель, иногда платиновые минералы (Pt–Pd) (Трухин и др., 2008).

Для руд характерна зональность: в центральных частях штоков преобладают массивные сульфиды,

тогда как по периферии — вкрапленные и прожилковые типы. Содержание Ni в рудах варьирует от 0,5 до 1,2%, Cu — от 0,3 до 0,8%, а суммарное содержание платиноидов достигает 0,5–1,0 г/т¹ (Трухин и др., 2008). Рудные тела развиты в виде дайковых и штоковых тел, где руды чаще диссеминированные, нередко подвергшиеся частичному вторичному перераспределению (Селянгин, 2014; Трухин и др., 2008, 2009).

Установлено, что формирование рудных тел происходило в несколько этапов:

1. Магматический этап — внедрение базит-гипербазитовых интрузий, кристаллизация силикатной и сульфидной фаз.

2. Гидротермальный этап — циркуляция флюидов, обогащенных Cl⁻, F⁻, CO₂ и летучими компонентами, перераспределение Ni, Co и Cu.

3. Супергенный этап — выветривание с образованием вторичных оксидов и гидроксидов железа и никеля (Трухин и др., 2009).

Таким образом, никеленосные руды Шанучского рудного района образовались в результате сложного взаимодействия мафических магм и флюидов, поступающих из глубинных очагов мантийного происхождения. Такая многостадийность обусловила комбинированный магматическо-гидротермальный генезис месторождений, отличающий его от типичных трапповых сульфидных систем платформенного типа Норильского рудного района (Нурмухамедов и др., 2023; Поликарпочкин и др., 1984; Селянгин, 2014).

Месторождения Норильского рудного района расположены на северо-западной окраине Сибирской платформы (рис. 2). Эти месторождения сформировались в пределах трапповой провинции Сибирской платформы, в обстановке, связанной с крупномасштабным мантийным плюмом и растяжением континентальной коры в раннем триасе² (Аплонов и др., 2005). Такая обстановка способствовала внедрению базальтоидных магм, насыщенных серой, и образованию массивных и вкрапленных сульфидных тел. Возраст руд и вмещающих пород Норильского рудного района оценивается в ~250 млн лет (ранний триас), что соответствует времени становления Сибирской трапповой провинции (Аплонов и др., 2005; Шарапов и др., 2008). Расположение главных рудоносных интрузий контролируется Норильско-Хараелахским региональным разломом (Спиридонов, 2010). Основные рудные тела приурочены к подошвенной части интрузий габброидного и пикритового состава, внедренных в толщу вулканогенно-осадочных пород трапповой формации пермо-триасового возраста. Образование руд происходило в результате кристаллизационной дифференциации базитовой магмы с последующей интенсивной флюидной проработкой. Генезис

¹ Полетаев В. А. Камчатская платиноидно-никеленосная зона — геология и рудоносность : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2004. 22 с.

² Чайка И. Ф. Петрология малосульфидного хромит-платиноносного горизонта интрузии Норильск-1 : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Новосибирск, 2023. 29 с.

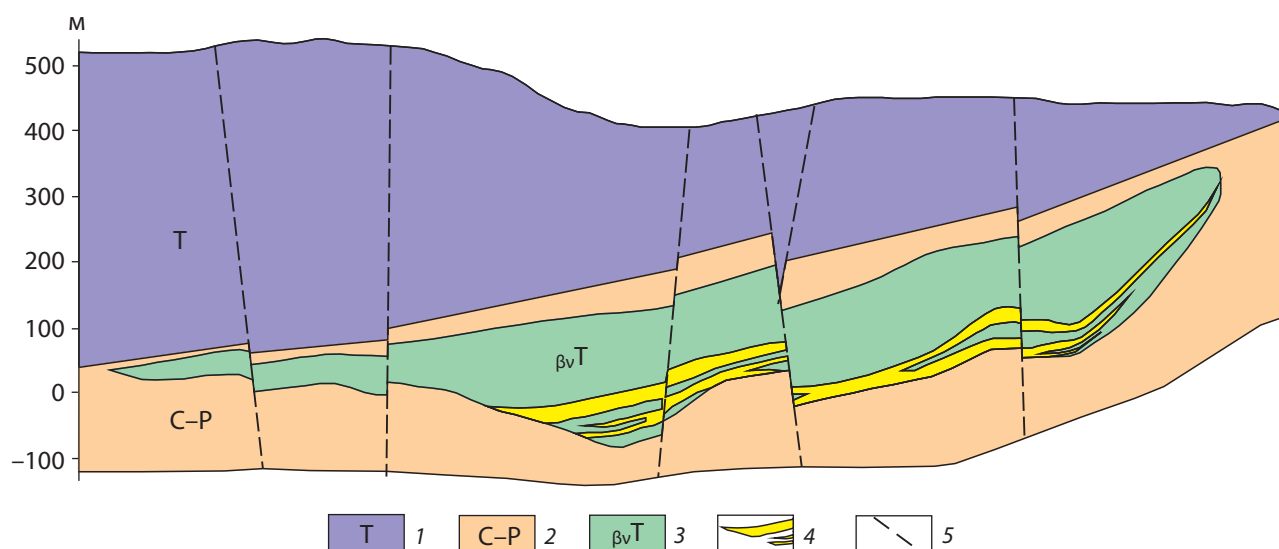


Рис. 2. Схематический геологический разрез одного из рудных тел Норильского рудного узла

1 — отложения триаса (Т); 2 — отложения пермо-карбона (С-Р); 3 — интрузии ($\beta_v T$); 4 — рудоносные части интрузий; 5 — разрывные нарушения

Источник: по Поликарпочкину и др. (1982), Чайке (2023)*

Fig. 2. Schematic geological section of an ore body in the Norilsk ore cluster

1 — Triassic deposits (T); 2 — Permian-Carboniferous deposits (C-P); 3 — intrusions ($\beta_v T$); 4 — ore-bearing intrusion parts; 5 — faults
Source: from Polikarpochkin et al. (1982), Chayka (2023)**

* Чайка И. Ф. Петрология малосульфидного хромит-платиноносного горизонта интрузии Норильск-1 : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Новосибирск, 2023. 29 с.

** Chayka I. F. (2023). *Petrology of the low-sulfide chromite-platiniferous horizon of the Norilsk-1 intrusion* [Abstr. of PhD diss., Geol. and Miner.]. Novosibirsk, 29 p.

месторождений магматический: сульфидное оруденение формировалось при взаимодействии мафических магм с осадочными толщами, что привело к локальному насыщению расплавов серой и образованию массивных и вкрапленных медно-никелевых руд (Золотарев и др., 2006; Изоитко и др., 1973; Разин и др., 1975; Рудашевский и др., 1977; Рябов, 1973). Тип оруденения — магматические сульфидные медно-никелевые руды с платиновыми элементами. Вмещающие породы — трапповые толщи и осадочные комплексы пермо-триасового возраста (около 250 млн лет) (Годлевский, 1968).

Сопоставление геологического строения месторождений Норильского и Шанучского рудных районов демонстрирует принципиально различную металлогеническую природу этих объектов. Норильский тип отражает глубинный магматический сульфидный процесс, приуроченный к неактивизации окраины платформы, где основную роль играли плюм-магматизм и обогащение базальтовых магм серой. Шанучский тип связан с аккреционно-коллизийными процессами в условиях субдукции, где важную роль играют гидротермальные и тектоно-магматические процессы (Нурмухамедов и др., 2023). Различия в геодинамической обстановке определили не только возраст и морфологию рудных тел, но и особенности минерального состава, степень метасоматической переработки и характер

гидрогеохимических проявлений. Медно-никелевые месторождения активных континентальных окраин, как правило, формируются по комбинированному магматическо-гидротермальному механизму, отличающемуся от классического магматического сульфидного типа платформенных районов.

Генетические различия сравниваемых рудных районов отражают контрастные условия магматической дифференциации и флюидного режима. В Норильском рудном районе рудообразование происходило в результате выделения сульфидной жидкости из базальтовых магм, где Ni и Cu концентрировались в сульфидной фазе (Аплонов и др., 2005; Додин и др., 1988; Годлевский, 1968; Митенков и др., 1970). В Шанучском рудном районе рудные тела сформировались при участии магматических и гидротермальных процессов, где значительная часть металлов поступала с восходящими флюидами, что придавало рудам повышенную зональность и вариабельность состава¹ (Трухин и др., 2008, 2009). Сравнительный анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает ключевые различия в условиях формирования, источниках вещества и эволюции рудообразующих систем Норильского и Шанучского

¹ Полетаев В. А. Камчатская платиноидно-никеленосная зона — геология и рудоносность : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2004. 22 с.

Основные различия в условиях формирования, источниках вещества и эволюции рудообразующих систем

Table 1. Key differences in formation conditions, matter sources, and evolution of ore-forming systems

Признак	Месторождения Норильского рудного района	Месторождения Шанучского рудного района
Геодинамическая обстановка	Активизация окраины Сибирской платформы, трапповый магматизм (ранний триас)	Аккреционно-коллизийные процессы в условиях субдукции континентальной и океанической плит (эоцен)
Генезис	Магматический	Магматический
Тип руд	Ni–Cu массивные и вкрапленные, в подошве траппов	Ni–Cu сульфидные в дайках и штоках, массивные, вкрапленные, брекчовые, прожилковые
Возраст	250 млн лет	Около 49 млн лет

рудных районов. Результаты такого сравнения могут иметь как теоретическое, так и прикладное значение для прогноза никеленосных структур в разных тектонических обстановках.

Норильский район представляет собой пример траппового магматизма, где подземные воды формируются в условиях выветривания сульфидных рудных тел и взаимодействия инфильтрующей влаги с интрузивными породами, что приводит к накоплению в растворе SO_4^{2-} и Fe^{3+} (Золотарев и др., 2006; Изоитко и др., 1973; Разин и др., 1975). Гидрогеохимическая система здесь является результатом инфильтрации атмосферных осадков и их взаимодействия с продуктами окисления сульфидов. Воды характеризуются повышенными концентрациями никеля (до 2 мг/л), меди (до 1 мг/л) и железа (до 10–30 мг/л), что связано с процессами окисления пирротина и халькопирита (Митенков и др., 1970).

Для Норильского рудного района характерны подземные и поверхностные воды сульфатно-хлоридного натриево-кальциевого состава с кислой или слабокислой реакцией среды (pH 3–6). Эти воды формируются в зонах окисления сульфидных руд и выщелачивания пород траппового комплекса, что приводит к накоплению в растворе SO_4^{2-} и Fe^{3+} (Аплонов и др., 2005; Мирошникова, 2011; Шарапов и др., 2008). Выделяются следующие гидрохимические особенности вод Норильского рудного района (Мирошникова, 2011):

- тип воды — сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый;
- высокие концентрации Ni (до 0,5–2,0 мг/л) и Cu (до 1 мг/л) в зоне дренажа рудных тел;
- значительная антропогенная нагрузка, усиливающая вынос металлов в поверхностные стоки.

Благодаря перечисленным особенностям такие воды являются важным индикатором рудных тел и зон сульфидного оруденения (Годлевский, 1968; Мирошникова, 2011; Спиридонов, 2010; Шарапов и др., 2008).

Гидрогеохимические условия месторождений Шанучского рудного района определяются вулканогенно-гидротермальной активностью. Гидрогеохимическая система района тесно связана с современным вулканизмом и активным тепловым потоком и обусловлена вулканогенно-гидротермальными процессами, где значительную роль играют магматические

флюиды, обогащенные летучими компонентами¹ (Трухин и др., 2009; Шарапов и др., 2008). Воды циркулируют по трещинным зонам и взаимодействуют с магматическими породами, что способствует повышенному содержанию Cl^- и F^- и появлению устойчивых комплексных соединений Ni и Co в растворе (Мирошникова, 2011). Подземные и поверхностные воды отличаются повышенной минерализацией (до 3–5 г/дм³), хлоридно-сульфатным составом и слабокислой реакцией (pH 5–6) (Паламарь, 2018). Воды содержат повышенные концентрации никеля (0,3–0,5 мг/л), кобальта (0,2–0,3 мг/л), железа (до 5 мг/л) и фтора (до 2 мг/л). Преобладают хлоридно-сульфатные воды с повышенным содержанием натрия и кальция, насыщенные фтором, хлором и углекислотой. Для вод характерны повышенные концентрации Cl^- , SO_4^{2-} , F^- и растворенные газы (CO_2 , H_2S) (Паламарь, 2018).

В зоне рудных тел отмечаются аномалии по Ni (до 0,3 мг/л), Co и Fe, а также специфические соотношения Cl/SO_4 , указывающие на участие магматических флюидов в гидрогеохимических процессах. Температура подземных вод в рудных зонах здесь выше (до 40–60 °C), что свидетельствует об активном влиянии гидротермальных источников (Паламарь, 2018).

Наличие хлоридных и фторидных ионов, а также высокое отношение $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ указывают на участие магматических флюидов в гидрогеохимических процессах. Эти особенности подтверждают связь рудообразования с глубинными источниками¹ (Додин и др., 1988; Мирошникова, 2011).

Необходимо отметить, что руды Шанучского рудного района содержат меньше меди, чем руды Норильского. Это объясняется соотношением никеля и меди в сульфидных рудах, которое для Норильского района составляет 1,2–0,2, а для руд Шанучского рудного района — 3,4–6,4 (Паламарь, 2018).

Для количественного сравнения химического состава и генетических особенностей подземных вод двух контрастных никеленосных систем составлена табл. 2, отражающая ключевые параметры,

¹ Полетаев В. А. Камчатская платиноидно-никеленосная зона — геология и рудоносность : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2004. 22 с.

Основные параметры, определяющие различия в типе вод, составе аномалий и условиях их формирования

Table 2. Basic parameters to determine differences in water type, anomaly composition, and formation conditions

Показатель	Норильск	Шануч
Состав вод	Сульфатно-хлоридные, слабокислые (pH 3–6)	Хлоридно-сульфатные, гидротермальные (pH 5–6, T до 60 °C)
Минерализация, г/дм ³	0,5–1,2	3–5
Основные анионы	SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , F ⁻
Основные катионы	Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Na ⁺ , Ca ²⁺
Элементы-анализаторы	Ni (до 2 мг/л), Cu (до 1 мг/л), Fe (10–30 мг/л)	Ni (0,3–0,5 мг/л), Co (0,2–0,3 мг/л), Fe (до 5 мг/л), F ⁻ (до 2 мг/л)
Генезис аномалий	Окисление сульфидных минералов в зоне гипергенеза	Воздействие магматогенно-гидротермальных флюидов
Геохимический индикатор	Аномалии SO ₄ ²⁻ , Fe ³⁺ , Ni, Cu	Аномалии Cl ⁻ , F ⁻ , Ni, Co
Основной источник минерализации	Окисление сульфидов в трапповых толщах	Магматические и гидротермальные флюиды

Свойства гидрохимических аномалий

Table 3. Hydrochemical anomaly properties

Признак	Норильск	Шануч
Состав вод	Сульфатно-хлоридные, слабокислые	Хлоридно-сульфатные, гидротермальные
Основные аномалии	Ni, Cu, SO ₄ ²⁻ , Fe ³⁺	Ni, Co, Cl ⁻ , F ⁻
Генезис аномалий	Окисление сульфидов	Влияние гидротермальных флюидов
Условия формирования аномалий	Зона выветривания траппов	Вулканогенно-гидротермальные системы

определяющие различия в типе вод, составе аномалий и условиях их формирования.

Сравнительный анализ данных, приведенных в табл. 2, свидетельствует о значительных различиях в гидрогеохимическом режиме двух исследуемых никеленосных систем, что отражает их генетическую и геодинамическую природу. Для подземных вод Норильского района характерны кислые и слабокислые условия (pH 3–6) и сульфатно-хлоридный состав, обусловленный процессами окисления пирротина, пирита и халькопирита в зоне гипергенеза¹ (Додин и др., 1988; Мирошникова, 2011). Формирование высоких концентраций ионов SO₄²⁻, Fe³⁺ и Ni происходит вследствие интенсивного выветривания сульфидных минералов и инфильтрации атмосферных вод в рудные тела, что отражает типичные условия для трапповых магматических комплексов Сибирской платформы¹ (Додин и др., 1988; Мирошникова, 2011).

В отличие от этого, воды Шанучского района демонстрируют повышенную минерализацию (до 3–5 г/дм³) и хлоридно-сульфатный тип состава, формирующийся под влиянием высокотемпературных магматогенно-гидротермальных флюидов (Мирошникова, 2011). Присутствие фторидов и хлоридов, а также устойчивые аномалии по никелю,

кобальту и железу указывают на глубинное мантийное происхождение флюидов и их участие в процессах рудообразования¹ (Додин и др., 1988; Паламарь, 2018). Эти особенности подтверждают, что химический состав подземных вод Шануча контролируется современными флюидно-тепловыми потоками и связан с циркуляцией гидротермальных растворов в зонах тектонической активизации (Паламарь, 2018). Специфические гидрогеохимические условия, отражающие влияние магматических флюидов, позволяют использовать комплекс геохимических и гидрогеохимических индикаторов (Ni, Co, Cl⁻, F⁻, Fe³⁺) при прогнозе новых рудных зон (Додин и др., 1988; Мирошникова, 2011; Паламарь, 2018; Перельман, 1966; Поликарпочкин и др., 1982).

В Норильском рудном районе гидрогеохимические аномалии носят гипергенный характер и формируются в результате поверхностного окисления сульфидных минералов, тогда как в Шануче они имеют эндогенную природу и определяются глубинными флюидными процессами (табл. 3).

¹ Полетаев В. А. Камчатская платиноидно-никеленосная зона — геология и рудоносность : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2004. 22 с.

Состав гидрогеохимических вод отражает не только различие источников минерализации, но и стадию эволюции рудоносной системы — от постмагматического окисления в трапповых комплексах до активного гидротермального флюидообмена в аккреционно-коллизионных зонах¹ (Додин и др., 1988; Поликарпочкин и др., 1982).

Гидрогеохимические особенности сравниваемых никеленосных рудных районов характеризуют не только условия минералообразования, но и последующие процессы выветривания, метасоматоза и вторичной миграции элементов. Изучение химического состава подземных и поверхностных вод в районах никеленосных месторождений позволяет выявить закономерности распределения аномалий по элементам-индикаторам (Ni, Cu, Co, Fe, SO_4^{2-} , Cl^- , F^- и др.) и определить источники их формирования¹ (Додин и др., 1988; Поликарпочкин и др., 1982). Эти особенности делают гидрогеохимический метод эффективным при поисках никеленосных тел в вулканогенных комплексах (Паламарь, 2018).

Полученные данные позволяют рассматривать гидрохимические параметры как информативные поисковые критерии: для платформенных провинций — повышенные концентрации SO_4^{2-} , Fe^{3+} и Cu, а для вулканогенно-гидротермальных систем — наличие аномалий по Cl^- , F^- , Ni и Co, связанных с глубинным поступлением металлоносных флюидов¹ (Додин и др., 1988; Поликарпочкин и др., 1982).

Сравнительный анализ приведенных в таблицах данных показывает, что различия между месторождениями Норильского и Шанучского рудных районов обусловлены геодинамическими и термохимическими условиями их формирования:

1. Норильский тип отражает процессы гипергенного выветривания и окисления сульфидов, что приводит к образованию кислых сульфатных вод и выносу Ni, Cu и Fe^{3+} в раствор.

2. Шанучский тип характеризуется участием магматических и гидротермальных флюидов, обогащенных Cl^- , F^- и летучими компонентами, в результате чего формируются хлоридно-сульфатные воды с комплексами Ni и Co.

3. Наличие устойчивых гидрогеохимических аномалий в районе Шануча указывает на роль флюидной активности в процессах металлоаккумуляции.

4. Гидрогеохимические показатели могут служить поисковыми критериями для выявления никеленосных структур: для платформенных районов — это повышенные концентрации SO_4^{2-} и Fe^{3+} , для аккреционно-коллизионных зон — Cl^- , F^- , Ni и Co.

Геологические, петрографические и гидрогеохимические данные подтверждают, что Шанучская система представляет самостоятельный камчатский тип никеленосных месторождений, отличающийся от трапповых объектов Сибирской платформы и требующий специфических подходов при геолого-поисковых работах. Выявленные различия сравниваемых рудных узлов подчеркивают значение

гидрогеохимических исследований как инструмента прогноза рудных зон и реконструкции эволюции рудоносных флюидных систем в различных геодинамических условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований получены следующие выводы:

1. Месторождения Норильского и Шанучского рудных районов относятся к магматическим сульфидным типам, однако различаются по возрасту и геодинамическим условиям формирования.

2. Химический состав подземных вод сравниваемых районов отражает различие генетических источников минерализации: в Норильском районе он формируется преимущественно в результате окисления сульфидных руд, в Шанучском — определяется воздействием магматических флюидов.

3. Гидрогеохимические аномалии Норильского рудного района носят гипергенный характер и формируются в результате поверхностного окисления сульфидных минералов, тогда как в Шануче они имеют эндогенную природу и определяются глубинными флюидными процессами.

4. В совокупности геологические, петрографические и гидрогеохимические данные подтверждают, что Шанучская система представляет самостоятельный камчатский тип никеленосных месторождений, отличающийся от трапповых объектов Сибирской платформы и требующий специфических подходов при геолого-поисковых работах.

5. Полученные данные позволяют рассматривать гидрохимические параметры как информативные поисковые критерии: для платформенных провинций — повышенные концентрации SO_4^{2-} , Fe^{3+} и Cu, а для вулканогенно-гидротермальных систем — наличие аномалий по Cl^- , F^- , Ni и Co, связанных с глубинным поступлением металлоносных флюидов.

Таким образом, полученные данные представляют научный интерес и могут успешно использоваться при прогнозировании и проведении гидрохимических методов поиска никелевых руд.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Аплонов В. С., Золотарев А. А. Особенности химического состава амфиболов Талнахского медно-никелевого месторождения (северо-запад Сибирской платформы) // Записки Российского минералогического общества. 2005. Т. 134, № 4. С. 45–55.

Гидрогеохимические методы поисков рудных месторождений / под ред. В. В. Поликарпочкина, П. А. Удодова. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1982. 199 с.

Годлевский М. Н. Магматические месторождения // Генезис эндогенных рудных месторождений / под ред. В. И. Смирнова. М.: Недра, 1968. С. 7–83.

Додин Д. А., Додина Т. С., Кравцов В. Ф. Генетические основы минералого-геохимических методов поисков месторождений сульфидной медно-никелевой формации // Геохимия и минералогия рудных формаций Норильского района / под ред. Д. А. Додина, Л. Г. Сухова. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1988. С. 29–38.

¹ Полетаев В. А. Камчатская платиноидно-никеленосная зона — геология и рудоносность: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2004. 22 с.

Золотарев А. А., Аплонов В. С. Особенности химического состава слюд Талнахского платиноидно-медно-никелевого месторождения (северо-запад Сибирской платформы) // Записки Российского минералогического общества. 2006. Т. 135, № 4. С. 48–65.

Изоитко В. М., Вяльсов Л. Н. Об ассоциации арсенидов и антимонидов никеля в рудах Талнахского месторождения // Минералы и парагенезисы минералов рудных месторождений / под ред. П. М. Татаринова. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1973. С. 31–38.

Мирошникова Л. К. Гидрогеохимические признаки и критерии сульфидного оруденения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 3. С. 12–17.

Митенков Г. А., Будько И. А., Михайлова В. А., Карпенков А. М., Шишкин Н. Н. Медистый пентландит в рудах Талнахского месторождения // Записки Российского минералогического общества. 1970. Т. 99, № 6. С. 721–725.

Нурмухамедов А. Г., Сидоров М. Д., Трухин Ю. П. Происхождение и структурная позиция Камчатского срединного массива по данным глубинных геолого-геофизических исследований // Георесурсы. 2023. Т. 25, № 2. С. 254–270. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.2.19>

Паламарь С. В. Гидрохимические методы поисков месторождений никеля на Камчатке // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 557. С. 142–147. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-12-57-142-147>

Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Высш. шк., 1966. 392 с.

Разин Л. В., Дубакина Л. С., Мещанкина В. И., Бегизов В. Д. Боршанскиит — новый плумбоарсенид палладия из медно-никелевых сульфидных руд Талнахского дифференцированного интрузива // Записки Российского минералогического общества. 1975. Т. 104, № 1. С. 57–61.

Рудашевский Н. С., Митенков Г. А., Карпенков А. М., Шишкин Н. Н. Серебросодержащий пентландит Ag(Fe, Ni)8S8 — самостоятельный минеральный вид аргентопентландит // Записки Российского минералогического общества. 1977. Т. 106, № 6. С. 686–688.

Рябов В. В. Сепиолиты Талнахского медно-никелевого месторождения // Записки Российского минералогического общества. 1973. Т. 102, № 6. С. 709–712.

Селянгин О. Б. К сравнительной петрологии интрузивов северной и южной зон Камчатской никеленозной провинции. Часть первая // Вестник Камчатской региональной организации «Учебно-научный центр». Сер.: Науки о Земле. 2014. Т. 23, № 1. С. 168–185.

Спирidonov Э. М. Рудно-магматические системы Норильского рудного поля // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 9. С. 1356–1378.

Старосельцев В. С. Как открывали Талнахско-Октябрьское месторождение // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2015. № 4. С. 110–115.

Трухин Ю. П., Степанов В. А., Сидоров М. Д. Камчатская никеленозная провинция // Доклады Академии наук. 2008. Т. 418, № 6. С. 802–805.

Трухин Ю. П., Степанов В. А., Сидоров М. Д., Кунгурова В. Е. Шанучское медно-никелевое месторождение: геолого-геофизическая модель, состав и геохимия руд // Руды и металлы. 2009. № 5. С. 75–81.

Шарапов В. Н., Перепечко Ю. В., Перепечко Л. Н., Рахменкулова И. Ф. Природа мантийных источников пермтриасовых траппов Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 7. С. 652–666.

Polikarpochkin V. V., Udodov P. A. (Eds.). (1982). *Hydrogeochemical methods of ore deposit prospecting*. Novosibirsk: Nauka, Siberian branch, 199 p. (In Russ.).

Godlevskiy M. N. (1968). Magmatic deposits. In V. I. Smirnov (Ed.), *Genesis of endogenous ore deposits* (pp. 7–83). Moscow: Nedra. (In Russ.).

Dodin D. A., Dodina T. S., Kravtsov V. F. (1988). Genetic foundations of mineralogical and geochemical methods of sulfide copper-nickel formation deposit prospecting. In D. A. Dodin, L. G. Sukhov (Eds.), *Geochemistry and mineralogy of ore formations of the Norilsk region* (pp. 29–38). Leningrad: Nauka, Leningrad branch. (In Russ.).

Zolotarev A. A., Aplonov V. C. (2006). Peculiarities in chemical composition of micas of Talnakh platinum-bearing copper-nickel ore deposit (north-west region of Siberian platform). *Proceedings of the Russian Mineralogical Society*, 135(4), 48–65. (In Russ.).

Izoitko V. M., Vyalsov L. N. (1973). Association of nickel arsenides and antimonides in the Talnakh deposit ores. In P. M. Tatarinov (Ed.), *Minerals and paragenesis of ore deposit minerals* (pp. 31–38). Leningrad: Nauka, Leningrad branch. (In Russ.).

Miroshnikova L. (2011). Hydrogeochemical features and criteria of sulfide mineralization. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*, (3), 12–17. (In Russ.).

Mitenkov G. A., Budko I. A., Mikhaylova V. A., Karpenkov A. M., Shishkin N. N. (1970). Copper pentlandite in the Talnakh deposit ores. *Proceedings of the Russian Mineralogical Society*, 99(6), 721–725. (In Russ.).

Nurmukhamedov A. G., Sidorov M. D., Trukhin Yu. P. (2023). Origin and structural position of the Kamchatka median massif according to deep geological and geophysical surveys. *Georesursy*, 25(2), 254–270. (In Russ.). <https://doi.org/10.18599/grs.2023.2.19>

Palamar S. V. (2018). Hydrochemical methods of searching for nickel deposits in Kamchatka. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, (557), 142–147. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-12-57-142-147>

Perelman A. I. (1966). *Geochemistry of the landscape*. Moscow: Vysshaya Shkola, 392 p. (In Russ.).

Razin L. V., Dubakina L. S., Meshchankina V. I., Begizov V. D. (1975). Borishanskiite as a new palladium plumbarsenide from copper-nickel sulfide ores of the Talnakh differentiated intrusive. *Proceedings of the Russian Mineralogical Society*, 104(1), 57–61. (In Russ.).

Rudashvskiy N. S., Mitenkov G. A., Karpenkov A. M., Shishkin N. N. (1977). Silver-bearing pentlandite Ag(Fe, Ni)8S8 as an independent mineral species of argentopentlandite. *Proceedings of the Russian Mineralogical Society*, 106(6), 686–688. (In Russ.).

Ryabov V. V. (1973). Talnakh copper-nickel deposit sepiolites. *Proceedings of the Russian Mineralogical Society*, 102(6), 709–712. (In Russ.).

Selyangin O. B. (2014). Comparative petrology of intrusions in the northern and southern zones of the Kamchatka nickel-bearing province. Part one. *Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences*, 23(1), 168–185. (In Russ.).

Spiridonov E. M. (2010). Ore-magmatic systems of the Noril'sk ore field. *Russian Geology and Geophysics*, 51(9), 1059–1077. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.08.011>

Staroseltsev V. S. (2015). How the Talnakhskoye-Oktyabrskoye deposit was discovered. *Geology and Mineral Resources of Siberia*, (4), 110–115. (In Russ.).

Trukhin Yu. P., Stepanov V. A., Sidorov M. D. (2008). The Kamchatka nickel-bearing province. *Doklady Earth Sciences*, 419(1), 214–216. <https://doi.org/10.1134/S1028334X08020050>

Trukhin Yu. P., Stepanov V. A., Sidorov M. D., Kungurova V. E. (2009). Shanuch Cu-Ni deposit, its geological and geophysical model, ore mineralogy and chemistries. *Ores and Metals*, (5), 75–81. (In Russ.).

Sharapov V. N., Perepechko Yu. V., Perepechko L. N., Rakhmenkulova I. F. (2008). Mantle sources of Permian-Triassic Siberian traps (West Siberian Plate and Siberian craton). *Russian Geology and Geophysics*, 49(7), 492–502. (In Russ.). <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2008.06.004>

REFERENCES

Aplonov V. S., Zolotarev A. A. (2005). Peculiarities of chemical composition of amphiboles in Talnakh copper-nickel ore field (north-west of Siberian platform). *Proceedings of the Russian Mineralogical Society*, 134(4), 45–55. (In Russ.).

Диана Сергеевна Бородина

Аспирант

Научно-исследовательский геотехнологический центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Петропавловск-Камчатский, Россия

<https://orcid.org/0009-0000-7683-4384>
WoS ResearcherID LIG-1480-2024
borodinakam@mail.ru

Diana S. Borodina

PhD student

Research Geotechnological Center,
Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

<https://orcid.org/0009-0000-7683-4384>
WoS ResearcherID LIG-1480-2024
borodinakam@mail.ru

Татьяна Ивановна Ларионова

Кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий кафедрой наук о Земле и горных наук

Научно-исследовательский геотехнологический центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Петропавловск-Камчатский, Россия

<https://orcid.org/0009-0000-2582-7707>
РИНЦ SPIN-код 7888-5353
sirius70@mail.ru

Tatyana I. Larionova

PhD (Geology and Mineralogy),
Head, Department of Earth and Mining Sciences

Research Geotechnological Center,
Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

<https://orcid.org/0009-0000-2582-7707>
RSCI SPIN-code 7888-5353
sirius70@mail.ru

Ирина Валерьевна Литвинова

Кандидат геолого-минералогических наук,
руководитель направления

Вилуйская геологоразведочная экспедиция
Акционерной компании «АЛРОСА»,
Новосибирск, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-0674-8728>
WoS ResearcherID AFG-7279-2022
РИНЦ SPIN-код 2595-6847
IVLitwinowa@yandex.ru

Irina V. Litvinova

PhD (Geology and Mineralogy),
Discipline Lead

Vilyuy Geological Exploration
Expedition of ALROSA,
Novosibirsk, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-0674-8728>
WoS ResearcherID AFG-7279-2022
RSCI SPIN-code 2595-6847
IVLitwinowa@yandex.ru

Вклад авторов: *Бородина Д. С.* — написание черновика рукописи, работа с данными, анализ данных.

Ларионова Т. И. — руководство исследования, пересмотр и редактирование рукописи.

Литвинова И. В. — пересмотр и редактирование рукописи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *Borodina D. S.* — original draft, data curation, formal analysis.

Larionova T. I. — supervision, review and editing.

Litvinova I. V. — review and editing.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 16.12.2025
Одобрена после рецензирования 26.01.2026
Принята к публикации 24.03.2026

Submitted 16.12.2025
Approved after reviewing 26.01.2026
Accepted for publication 24.03.2026