

УДК 553.48 + 552.11 (571.5)

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-1-16-21

О ПРОДУКТИВНОСТИ РУДОНОСНЫХ ИНТРУЗИВОВ И ВОЗМОЖНОЙ ИМПАКТНОЙ ИНИЦИАЦИИ СИБИРСКОЙ ТРАПОВОЙ ФОРМАЦИИ И НОРИЛЬСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ Pd-Pt-Rh-Cu-Ni-Co

Эрнст Максович Спиридонов[✉]

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; ernstspiridon@gmail.com[✉]

Аннотация. Показана чрезвычайно высокая продуктивность норильских рудоносных интрузивов, которая превышает продуктивность крупнейшего Pt–Pd гиганта Бушвелда по палладию примерно в 20 000 раз, по платине — в 3000 раз. Столь огромная разница не может быть объяснена процессами дифференциации. Становление крупнейшей в Мире магматической формации — сибирской траптовой и сопряженных с ней самых крупных в Мире норильских месторождений палладия отвечает границе терминальной перми и раннего триаса, которая соответствует мощнейшему на Земле импактному событию в Восточной Антарктиде. Выдвинута гипотеза о возможной импактной инициации суперплюма, породившего сибирскую траптовую формацию и крупнейшие норильские месторождения Pd. С этим коррелируются данные по геохимии палладия и платины в планетах Земной группы.

Ключевые слова: продуктивность рудоносных интрузивов, возможная импактная инициация сибирской траптовой формации и норильских месторождений палладия

Для цитирования: Спиридонов Э.М. О продуктивности рудоносных интрузивов и возможной импактной инициации сибирской траптовой формации и норильских месторождений Pd-Pt-Rh-Cu-Ni-Co // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 1. С. 16–21.

THE STATE OF THE PRODUCTIVITY OF ORE-BEARING INTRUSIONS AND THE POSSIBLE IMPACT INITIATION OF THE SIBERIAN TRAP FORMATION AND THE NORILSK Pd-Pt-Rh-Cu-Ni-Co DEPOSITS

Ernst M. Spiridonov^{1✉}

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ernstspiridon@gmail.com[✉]

Abstract. The extremely high productivity of the Norilsk ore-bearing intrusives exceeding the palladium (20,000 times as much) and platinum (3,000 times as much) productivity of the largest Pt–Pd giant Bushveld, is shown. Such a huge difference cannot be explained by any differentiation processes. The largest igneous formation in the world, which is the Siberian Trap and the associated largest in the world Norilsk palladium deposits conform to the boundary of the terminal Permian and the Early Triassic corresponding to the most powerful impact event on Earth in East Antarctica. A hypothesis for the possible impact initiation of the superplume that generated the Siberian trap formation and the largest Norilsk Pd deposits has been suggested. This correlates with data on the palladium and platinum geochemistry in the terrestrial planets.

Keywords: productivity of ore-bearing intrusives, possible impact initiation of the Siberian trap formation and Norilsk palladium deposit

For citation: Spiridonov E.M. The state of the productivity of ore-bearing intrusions and the possible impact initiation of the Siberian trap formation and the Norilsk Pd-Pt-Rh-Cu-Ni-Co deposits. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 1: 16–21. (In Russ.).

Введение. Одна из жемчужин Арктической области России — гигантские плутоногенные Норильские Co-Ni-Cu-Ag-Au-Rh-Pt-Pd месторождения. Магматогенные сульфидные руды этих месторождений содержат уникальное количество Pd и Pt. В этих месторождениях многое специфично. Они размещены в особой структуре Восточно-Сибирской платформы — в северо-западной зоне краевых дислокаций, строение которой промежуточное между платформой и складчатой областью [Годлевский, 1959; Маслов, 1963; Люлько и др., 1987, 1994; Simonov, et al., 1994; Спиридонов, 2019], недалеко от границы

с Западно-Сибирской эпикаледоно-герцинской плитой. Рудоносные интрузивы расположены над мощным выступом высокоплотных пород основного состава (рис. 1), судя по результатам интерпретации сейсмического профиля «Батолит» [Глубинное строение СССР..., 1991].

На дорифейской Восточно-Сибирской платформе интенсивно проявлен мантийный магматизм. Это крупнейшая в Мире магматическая провинция — сибирская траптовая формация [Соболев, 1936; Геология..., 1966] с Pt-Pd специализацией, с крупнейшими месторождениями палладия —

Норильскими месторождениями Co-Ni-Cu сульфидных руд [Котульский, 1946; Годлевский, 1959; Маслов, 1963; Степанов, 1981; Люлько и др., 1987, 1994; Степанов, Туровцев, 1988; Simonov, et al., 1994]. Объем изверженных базальтовых расплавов — от 1,5 до 12 млн км³ (Масайтис, 1983; Dobretsov, 2009). Изотопный U-Pb возраст по циркону и бадделеиту габбронорит-долеритов рудоносных интрузивов Норильского рудного поля — $251,2 \pm 0,3$ Ma [Kamo, et al., 1996; Kamo, et al., 2003]. Аналогичные датировки получены Rb/Sr и Ar/Ar методом по плагиоклазу, биотиту и амфиболу пород рудоносных интрузивов — $250,2 \pm 1,5$ Ma [Renne, 1995] и Re/Os методом по сульфидным рудам [Dalrymple, et al., 1991]. Практически тот же изотопный возраст установлен у вулканических траппов Норильского региона и рифтов Западно-Сибирской плиты [Изменения..., 2007]. В северной части Восточно-Сибирской платформы в Маймеча-Котуйской провинции развиты траппы, аналогичные норильским, U-Pb возраст этих пород по циркону и бадделеиту — $251,7 \pm 0,5$ Ma [Kamo, et al., 2000]. Таким образом, возраст сибирской трапповой формации отвечает границе пермского и триасового периодов, установленной в стратотипе Мейшань в Южном Китае по морской фауне терминальной перми и раннего триаса, изотопная датировка этой границы — $251,2 \pm 0,3$ Ma [Bowring, et al., 1998].

Для посттрапповых щелочных базальтоидов, ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов Маймеча-Котуйской провинции с Pt-Ir-Os специализацией установлен U-Pb возраст по циркону и бадделеиту и U-Th-Pb возраст по перовскиту — $250,2 \pm 0,3$ Ma [Kamo, et al., 2000]. Одни из характерных образований Маймеча-Котуйской провинции — дайки щелочных лампрофиров, в их числе — арфведсонит-флогопитовые минетты лампроитовой серии, богатые апатитом, который содержит до 22 масс. % SrO. Дайки точно таких же минетт с высокоSr апатитом в Норильском рудном поле в руднике Заполярном секут интрузивные породы и сульфидные руды [Спиридонов, 2021; 2022б].

Таким образом, длительность формирования сибирской трапповой формации, включая Норильские месторождения, менее 1,5 Ma [Люлько и др., 1994; Спиридонов, 2010, 2019, 2022а], т. е. скорость накопления магматических расплавов и рудного вещества очень высока.

Одни из замечательных образований Сибирской трапповой формации — рудно-магматические системы Норильского рудного поля, которые содержат около 40 % мировых запасов Pd и 10 % Pt. Рудное поле образовано рядом рудоносных интрузивов норильского типа [Годлевский, 1959; Степанов, 1981; и др.] (рис. 2), практически наиболее поздних производных сибирской трапповой формации, возникшей на рубеже перми и триаса. В Талнахском рудном узле — это Хараелахский интрузив — месторождение Октябрьское, Верхнеталнахский интрузив —

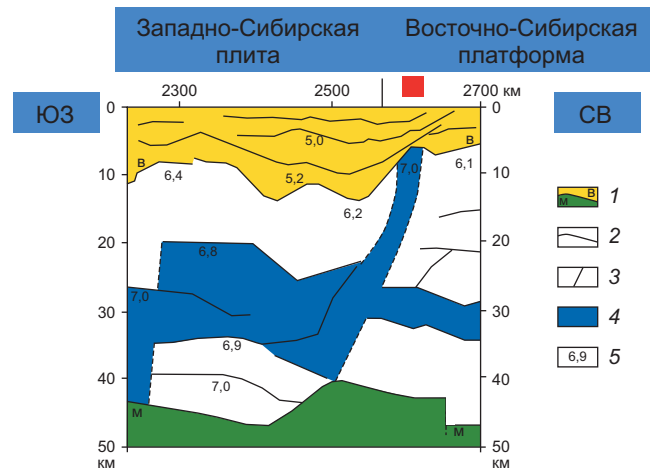


Рис. 1. Фрагмент сейсмического профиля «Батолит» [Глубинное строение..., 1991]. 1 — опорные сейсмические границы (B — фундамент, M — поверхность Мохо); 2 — внутрикоровые сейсмические границы; 3 — границы блока с различными скоростными характеристиками; 4 — блоки земной коры, сложенные породами основного состава; числа 5 — значения скоростей продольных волн, км/с. Красным показано географическое положение Норильского рудного поля

месторождение Талнахское; в Норильском рудном узле — это Норильские интрузивы — месторождения Норильское I, Масловское, Норильское II. Размеры лентообразных рудоносных интрузивов норильского типа составляют $0,3-2 \times 0,1-0,3 \times 25-30$ км. Суммарный их объем около 30 км³.

Недеформированные рудоносные интрузивы пересекли и метаморфизовали низы толщи вулканических траппов, которая смята в серию брахисинклиналей. Внедрение рудоносных интрузивов возможно было сопряжено со смятием вулканических траппов, которое могло быть вызвано раскрытием мощных рифтов, заполненных базальтами, на северо-востоке Западно-Сибирской плиты [Spiridonov, et al., 2018].

По мнению ведущих исследователей Норильских месторождений, породившие их магматические системы могли иметь глубинный мантийный источник [Котульский, 1946; Годлевский, 1959; Wooden, et al., 1992; Lightfoot, et al., 1993; Walker, et al., 1994; Arndt, et al., 2003; Naldrett, 2004; Лихачёв, 2006]. По данным В.К. Степанова [Степанов, 1981; Степанов, Туровцев, 1988] и натурным наблюдениям, в том числе автора [Спиридонов, 2019, 2022б], сульфидные расплавы внедрились из глубинного источника синхронно с силикатными расплавами, породившими рудоносные интрузивы норильского типа.

Возраст сибирской трапповой формации отвечает границе пермского и триасового периодов — 251 Ma. Именно в это время произошла крупнейшая экологическая катастрофа — вымерло более 70 % всей биоты Земли того времени, как наземной, так и морской. Считалось, что причиной экологической катастрофы были извержения сибирских плато-базальтов с колоссальным выбросом S, Cl, F и др. [Рябчиков и др., 1999].

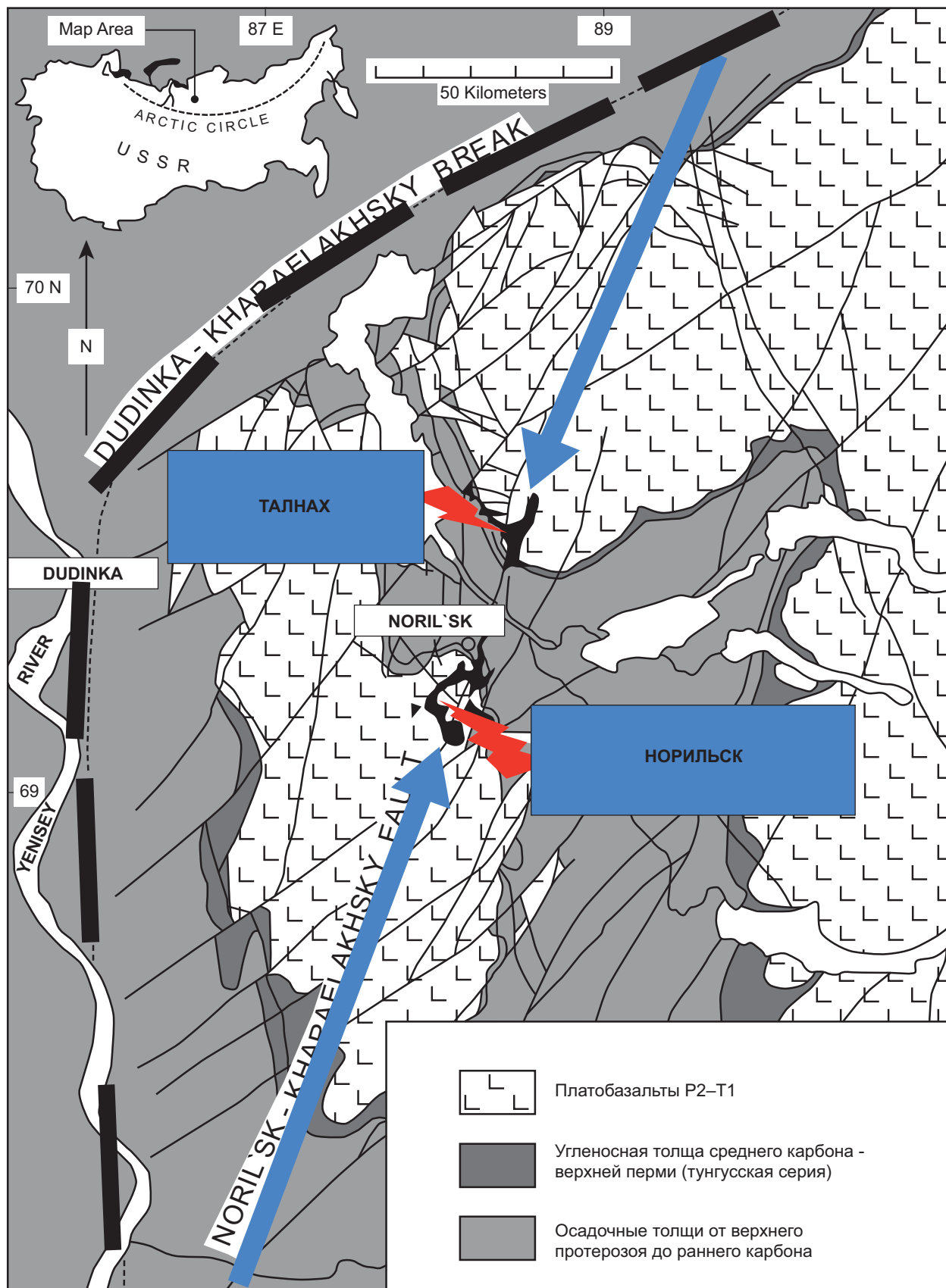


Рис. 2. Направления внедрения рудоносных интрузивов от границ платформы (черный пунктир) в Норильском рудном узле — с юго-запада на северо-восток, в Талнахском рудном узле — с северо-востока на юго-запад, показаны синими стрелами. Головные части рудоносных интрузивов показаны черной заливкой



Рис. 3. Местоположение импактного кратера на востоке Антарктиды в Земле Уикса

По представлениям ведущих петрологов [Arndt, et al., 1998; Рябчиков и др., 1999; Dobretsov, 2009] Сибирская трапповая формация порождена суперплюмом — мощным потоком вещества и энергии примерно от границы ядра Земли к ее поверхности.

В чем вероятная причина возникновения плюма гигантского масштаба, породившего Сибирскую трапповую формацию? Возможные ответы появились из Антарктиды и Китая. В районе Земли Уикса на востоке Антарктиды обнаружен самый крупный из известных на нашей планете астероидный кратер. Диаметр его воронки правильной округлой формы составляет 482 км (рис. 3), т. е. крупное космическое тело ударило почти перпендикулярно к поверхности Антарктического континента. Ученые убеждены в том, что возраст кратера около 250 Ма. В качестве подтверждения этого события и его следствия, в Китае в регионе Мейшань на границе слоев с морской фауной терминальной перми и слоев с морской фауной раннего триаса обнаружен горизонт с массой металлических частиц космического происхождения [Корчагин и др., 2010].

Стоит отметить, что почти все границы геологических периодов отвечают крупным импактным событиям [Масайтис и др., 1980; Carion, 2017].

Представляется, что причиной крупнейшей экологической катастрофы на границе пермского и триасового геологических периодов было мощнейшее импактное событие. Крупномасштабные извержения сибирских траппов — его возможное следствие.

Физики полагают жизнеспособным следующее предположение автора [Спиридонов, 2019, 2022a].

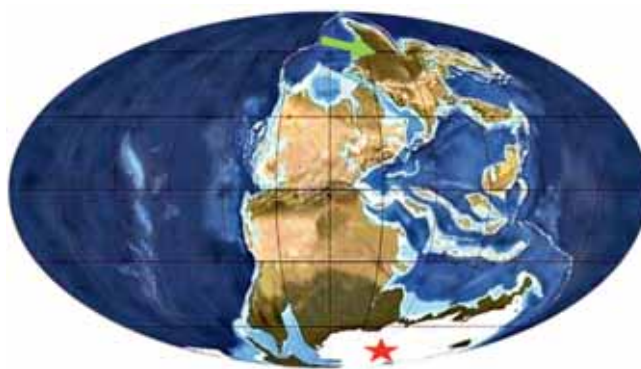


Рис. 4. Палинспастическая реконструкция на время 250 Ма назад. Местоположение гигантского импактного кратера на земле Уикса в Антарктиде показано красной звездочкой, сибирских траппов — зеленой стрелкой

Мощная гидравлическая ударная волна от падения крупного космического тела 251 Ма тому назад дошла до жидкого ядра Земли, пронзила его и вызвала на противоположной стороне жидкого ядра выброс вещества и энергии, спровоцировав возникновение суперплюма — «прародителя» Сибирской трапповой формации и генетически связанных норильских месторождений. Палинспастическая реконструкция на время 250 Ма тому назад этому соответствует (рис. 4).

Эту гипотезу подтверждает необычайное богатство норильских руд палладием и платиной. Сравним два крупнейших месторождения платины и палладия — Бушвелд в Южной Африке и Норильское в Сибири. Объем магматической системы Бушвелда ~600 000 км³ [Carr, et al., 1999],

магматической системы Норильска ~30 км³ (оценка автора). При разнице в объеме в 20 000 раз, ресурсы палладия Норильска примерно равны Бушвелду, платины — только в 6 раз меньше. Таким образом, продуктивность магматической системы Норильска превышает таковую для Бушвелда по палладию примерно в 20 000 раз, по платине примерно в 3000 раз. Столь огромная разница не может быть объяснена никакими процессами дифференциации.

Известно, что в планетах Земной группы максимальные кларки платиновых металлов находятся в их металлических ядрах [Гольдшмидт, Петерс, 1938; Fleet, Stone, 1991; Лазаренков, Таловина, 2000; Ярошевский, 2004]. Из платиновых металлов пал-

ладий — наименее сидерофильный и максимально халькофильный [Гольдшмидт, Петерс, 1938; Горбачёв и др., 1993; Ярошевский, 2004; Naldrett, 2004]. В ядре Земли по оценкам ведущих геохимиков немало серы. В верхней части жидкого ядра Земли возможно существование обогащенного палладием сульфидного расплава, несмешивающегося с металлическим. Именно такой сульфидный расплав мог попасть в суперплюм, возможно породивший Норильские месторождения с уникальными концентрациями палладия.

Финансирование. Работа выполнена по плану научно-исследовательских работ кафедры минералогии МГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Геология Сибирской платформы (ред. И.И. Краснов, М.Л. Лурье, В.Л. Масайтис). М.: Недра, 1966. 447 с.

Глубинное строение территории СССР. М.: Наука, 1991. 238 с.

Годлевский М.Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. М.: Госгеолтехиздат, 1959. 89 с.

Гольдшмидт В.М., Петерс К. К геохимии благородных металлов // Сб. статей по геохимии редких элементов. М.; Л.: ГОНТИ НКТП СССР, 1938. С. 98–120.

Горбачёв Н.С., Брумманн Г.Е., Налдретт А.Дж. и др. Окислительно-восстановительные условия и распределение платиновых металлов в сульфидно-силикатных магматических системах // Докл. РАН. 1993. Т. 331. С. 220–223.

Изменения окружающей среды и климата. М.: ИГЕМ РАН, 2007. 200 с.

Корчагин О.А., Цельмович В.А., Поспелов И.И., Цяньтао Бянь. Космические магнетитовые микросферы и металлические частицы вблизи границы перми и триаса в точке глобального стратотипа границы (слой 27, Мейшань, Китай) // Докл. РАН. 2010. Т. 432, № 2. С. 232–238.

Котульский В.К. К вопросу о происхождении магматических медно-никелевых месторождений // Докл. АН СССР. 1946. Т. 51. С. 381–384.

Лазаренков В.Г., Таловина И.В. Геохимия элементов платиновой группы. СПб.: Горный институт, 2000. 265 с.

Лихачёв А.П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. М.: Эслан, 2006. 496 с.

Люлько В.А., Амосов Ю.Н., Душаткин А.Б. Тектоника, рудоконтролирующие структуры и металлогеническое районирование Игарско-Норильского региона // Металлогения Сибири. Т. 2. Новосибирск: Наука, 1987. С. 143–149.

Люлько В.А., Федоренко В.А., Степанов В.К. Геология и рудные месторождения Норильского района. Путеводитель VII Международного симпозиума по платине. М.; Норильск, 1994. 43 с.

Масайтис В.Л. Пермский и триасовый вулканизм Сибири: проблемы динамических реконструкций // Зап. ВМО. 1983. Ч. 112. Вып. 4. С. 412–425.

Масайтис В.Л., Данилин А.Н., Мащак М.С. Геология астроблем. Л.: Недра, 1980. 231 с.

Маслов Г.Д. Тектоника Игарско-Норильского района и рудоконтролирующие структуры // Тектоника Сибири. Т. 2. Новосибирск: Наука, 1963. С. 336–350.

Рябчиков И.Д., Соловова И.П., Нтафлос Т. Субщелочные базальты плато Путорана (Восточная Сибирь) — усло-

вия магнообразования и потенциальная температура мантийного плюма // Докл. РАН. 1999. Т. 369, № 1. С. 107–110.

Соболев В.С. Петрология траппов Сибирской платформы // Тр. Всесоюзного Арктического института. 1936. Т. 43. Геология. 214 с.

Спиридонов Э.М. Арфведсонит-флогопитовые минералы лампроитовой серии Горного Крыма и Восточно-Сибирской платформы // Петрология и геодинамика геологических процессов. Иркутск, 2021. Т. 3. С. 100–104.

Спиридонов Э.М. Возможная импактная инициация гигантской Сибирской трапповой формации и уникальных Норильских месторождений. Продуктивность рудоносных интрузивов // Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал. Апатиты: изд. ФИЦ КНЦ РАН, 2022а. С. 109–112.

Спиридонов Э.М. Генетическая модель месторождений Норильского рудного поля // Смирновский сборник-2019. М.: Макс Пресс, 2019. С. 41–113.

Спиридонов Э.М. Норильские рудоносные интрузивы и сульфидные руды. К 120-летию М.Н. Годлевского // Отечественная геология. 2022б. № 6. С. 95–116.

Спиридонов Э.М. Рудно-магматические системы Норильского рудного поля // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 6. С. 1356–1378.

Степанов В.К. Динамическая модель внедрения, кристаллизации и рудоотложения рудоносных интрузий Норильска // Тр. ЦНИГРИ. Вып. 162. 1981. С. 13–19.

Степанов В.К., Туровцев Д.М. Многофакторные модели медно-никелевых месторождений норильского типа // Тр. ЦНИГРИ. 1988. Вып. 223. С. 86–94.

Ярошевский А.А. Проблемы современной геохимии. Новосибирск: Изд-во Новосибирского гос. университета, 2004. 194 с.

Arndt N., Chauvel C., Czamanske G., et al. Two mantle sources, two plumbing systems: tholeiitic and alkaline magmatism of the Maymecha River basin, Siberian flood volcanic province // Contrib. Mineral. Petrol. 1998. Vol. 133. P. 297–313.

Arndt N.T., Czamanske G., Walker R.J. Geochemistry and origin of the intrusive host of the Noril'sk — Talnakh Cu-Ni-PGE sulphide deposits // Econ. Geol. 2003. Vol. 98. P. 495–515.

Bowring S.A., Ervin D.M., Jin Y.G. The age of the Permian-Triassic boundary at Meishan, Southern China // Science. 1998. Vol. 280. P. 1039–1045.

Campbell J.H., Czamanske G.K., Fedorenko V.A., et al. Synchronism of the Siberian traps and the P-T boundary // Science. 1992. Vol. 258. P. 1760–1763.

- Carion A.* Impacts. Paris: 2017. 58 p.
- Carr H.W., Kruger F.J., Groves D.I., et al.* The petrogenesis of Merensky Reef potholes at the Western Platinum Mine, Bushveld Complex: Sr-isotopic evidence for synmagmatic deformation // *Mineral. Deposita*. 1999. Vol. 34. P. 335–347.
- Dalrymple G.B., Cramanske G.K., Stepanov V.K., et al.* $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of samples from the Noril'sk — Talnakh ore-bearing intrusions and the Siberian flood basalts // *Eos*. 1991. Vol. 72. P. 570.
- Dobretsov N.L.* Siberian superplume // Large igneous provinces of Asia, mantle plumes and metallogeny. Novosibirsk: SB RAS. 2009. P. 1–13.
- Fleet M.E., Stone W.E.* Partitioning of platinum-group elements in the Fe-Ni-S system and their fractionation in nature // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1991. Vol. 55. P. 245–253.
- Kamo S.L., Czamanske G.K., Amelin Yu.* U-Pb zircon and U-Th-Pb perovskite ages for Siberian flood volcanism, Maymecha-Kotuy area, Siberia // *J. Conf. Abstr.* 2000. Vol. 5. P. 569.
- Kamo S.L., Czamanske G.K., Amelin Yu., et al.* Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence for coincidence with Permian — Triassic boundary and mass extinction at 251 Ma // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2003. Vol. 214. P. 73–93.
- Kamo S.L., Czamanske G.K., Krogh T.E.* A minimum U-Pb age for Siberian flood-basalt volcanism // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1996. Vol. 60. P. 3505–3511.
- Lightfoot P.C., Hawkesworth C.S., Hergt J., et al.* Remobilization of the continental lithosphere by mantle plumes: major-, trace-element, and Sr-, Nd-, and Pb-isotope evidence from picritic and tholeiitic lavas of the Noril'sk district, Siberian Trap, Russia // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1993. Vol. 114. P. 171–188.
- Naldrett A.J.* Magmatic sulfide deposits. Geology, geochemistry and exploration. Berlin; Heidelberg; N.Y.: Springer, 2004. 727 p.
- Renne P.R.* Excess $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ in biotite and hornblende from Noril'sk-I intrusion, Siberia: implication for age of Siberian Traps // *Earth Planet. Sci. Letter.* 1995. Vol. 131. P. 165–176.
- Simonov O.N., Lul'ko V.A., Amosov Yu.N., et al.* Geological structure of the Noril'sk region // *Sudbury — Noril'sk Symposium*, Ontario Geological Survey, 1994. Spec. Vol. 5. P. 161–170.
- Spiridonov E., Stepanov V., Kulagov E., Belyakov S.* Real relationships of volcanic and orebearing intrusive traps in the Noril'sk ore field, Northern Siberia, Russia // *13th Intern. Platinum Symp.* Polokwane, South Africa. 2018. P. 176–177.
- Walker R.J., Morgan J.W., Horan M.F., et al.* Re-Os isotope evidence for an enriched-mantle source for the Noril'sk-type, ore-bearing intrusion // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1994. Vol. 58. P. 4179–4197.
- Wooden J.L., Czamanske G.K., Bouse R.M., et al.* Pb isotope data indicate a complex, mantle origin for the Noril'sk-Talnakh ores, Siberia // *Econ. Geol.* 1992. Vol. 87. P. 1153–1165.

Статья поступила в редакцию 04.10.2024,
одобрена после рецензирования 30.10.2024,
принята к публикации 28.02.2025