

УДК 553.491.4:553.491.8(470.21)

DOI: 10.24930/1681-9004-2024-24-1-147-172

## Малосульфидные платинометаллные месторождения в Кольском регионе: сравнительный анализ Южносопчинского рудопоявления и месторождения Федорова Тундра

Я. А. Рыбникова, Т. В. Рундквист

Геологический институт, обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра “Кольский научный центр Российской академии наук” (ГИ КНЦ РАН), 184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, 14, e-mails: y.rybnikova@ksc.ru; t.rundkvist@ksc.ru

Поступила в редакцию 22.08.2023 г., принята к печати 21.11.2023 г.

**Объекты исследования.** Платинометаллные объекты Кольского региона (контактный тип): Южносопчинское рудопоявление в пределах одноименного массива, принадлежащего к раннепротерозойской Мончетундровской интрузии, и месторождение Федорова Тундра, расположенное в западной части Федорова-Панского раннепротерозойского расслоенного комплекса. **Цель.** Установить специфику условий образования платинометаллных руд Южносопчинского рудопоявления и месторождения Федорова Тундра. **Методы.** Сравнение геологического строения и петрогеохимических особенностей пород и руд с применением статистического анализа. **Результаты.** Южносопчинское рудопоявление, как и месторождение Федорова Тундра, принадлежит к контактовому типу месторождений элементов платиновой группы. Главным характерным признаком является приуроченность рудной зоны к контакту двух магматических фаз. В зоне контакта развита магматическая брекчия, а также пегматоидные и жильные тела, последние особенно широко распространены в пределах Южносопчинского рудопоявления. В составе брекчии Южносопчинского рудопоявления обломки представлены ортопироксенитами и меланократовыми норитами ранней магматической фазы (расслоенной серии пород), они цементируются безрудными габброидами более поздней магматической фазы. В зоне брекчии месторождения Федорова Тундра обломки также сложены ортопироксенитами и меланократовыми норитами ранней магматической фазы (расслоенной серии пород), цементируются такситовыми рудоносными габбро-норитами поздней магматической фазы. Аналогичные по номенклатуре породы двух объектов демонстрируют небольшие систематические различия по составу петрогенных компонентов, а также редкоземельных и редких элементов. Такситовые габбро-нориты (породы краевой серии) месторождения Федорова Тундра не имеют аналогов среди пород Южносопчинского рудопоявления. Сравнение сопоставимых по объему (более 2000 проб в каждой) двух выборок результатов опробования на Pt, Pd, Au, Ni и Cu показало, что содержание всех благородных металлов в рудах месторождения Федорова Тундра устойчиво выше, чем в рудах Южносопчинского рудопоявления. Руда месторождения Федорова Тундра однородна, в среднем  $Pd/Pt = 4.5$ . Руда Южносопчинского рудопоявления неоднородна и в среднем немного более “платиновая” и менее “палладиевая”, чем руда месторождения Федорова Тундра. **Выводы.** Два рудных объекта контактового типа во многом сходны, но различаются главным образом условиями образования минерализации. Руда Южносопчинского рудопоявления поступила в контактовую зону из пород расслоенной серии вследствие мобилизации рудного вещества при внедрении поздней габброидной интрузивной фазы. Руда месторождения Федорова Тундра поступила в зону контакта вместе с поздней рудоносной габбро-норитовой магматической фазой.

**Ключевые слова:** расслоенные интрузии, элементы платиновой группы, контактовое оруденение, Кольский регион

**Источник финансирования**

Исследования выполнены в рамках темы НИР АААА-А19-119100290147-7

## Low-sulfide platinum–metal deposits in the Kola region: A comparative analysis of the Yuzhnosopchinskoye ore occurrence and the Fedorova Tundra deposit

Yana A. Rybnikova, Tatyana V. Rundkvist

**Для цитирования:** Рыбникова Я.А., Рундквист Т.В. (2024) Малосульфидные платинометаллные месторождения в Кольском регионе: сравнительный анализ Южносопчинского рудопоявления и месторождения Федорова Тундра. *Литосфера*, 24(1), 147–172. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2024-24-1-147-172>

**For citation:** Rybnikova Ya.A., Rundkvist T.V. (2024) Low-sulfide platinum–metal deposits in the Kola region: A comparative analysis of the Yuzhnosopchinskoye ore occurrence and the Fedorova Tundra deposit. *Lithosphere (Russia)*, 24(1), 147–172. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2024-24-1-147-172>

© Я.А. Рыбникова, Т.В. Рундквист, 2024

Geological Institute, Separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science  
of the Federal Research Center "Kola Science Center" (GI KSC RAS), 14 Fersman st., 184209 Apatity, Russia,  
e-mails: y.rybnikova@ksc.ru; t.rundkvist@ksc.ru

Received 22.08.2023, accepted 21.11.2023

**Research subject.** Platinum–metal objects of the Kola region (contact type mineralization), including the Yuzhnosopchinskoye ore occurrence within the same-name massif belonging to the Early Proterozoic Monchetundra intrusion and the Fedorova Tundra deposit located in the western part of the Early Proterozoic Fedorovo-Pansky layered complex. **Aim.** To establish the formation conditions of platinum-metal ores in the Yuzhnosopchinskoye ore occurrence and the Fedorova Tundra deposit. **Methods.** Comparison of the geological structure and petro-geochemical features of rocks and ores from the two objects using statistical analysis. **Results.** Both the Yuzhnosopchinskoye ore occurrence and the Fedorova Tundra deposit belong to the contact type of platinum group element deposits. The main characteristic feature is confinement of the ore zone to the contact of two magmatic phases. In the contact zone, igneous breccia, pegmatoid, and vein bodies are widespread, with the latter being especially common in the Yuzhnosopchinskoye ore occurrence. In Yuzhnosopchinskoye ore occurrence, breccia fragments are represented by orthopyroxenites and melanocratic norites of the early magmatic phase (layered series of rocks). They were cemented by barren gabbroids of the later magmatic phase. In the Fedorova Tundra deposit, breccia zone fragments are also composed of orthopyroxenites and melanocratic norites of the early magmatic phase (layered series of rocks). They were cemented by taxitic ore-bearing gabbro-norites of the late magmatic phase. Rocks of the two objects with a similar nomenclature demonstrate slight systematic differences in the composition of petrogenic components, as well as in REE and rare elements. Taxitic gabbro-norites (rocks of the marginal series) from the Fedorova Tundra deposit have no rock analogues in Yuzhnosopchinskoye ore occurrence. A comparison of similar amounts of two data sets (more than 2000 samples each) of Pt, Pd, Au, Ni, and Cu sampling showed that the content of all precious metals in the Fedorova Tundra deposit was consistently higher than that in the Yuzhnosopchinskoye ore occurrence. The Fedorova Tundra deposit is homogeneous, with an average Pd/Pt ratio of 4.5. The Yuzhnosopchinskoye ore occurrence is heterogeneous and, on average, slightly more 'platinum' and less 'palladium' than the Fedorova Tundra deposit. **Conclusions.** The two ore objects of the contact type are similar in many respects, mainly differing in the conditions of mineralization formation. The Yuzhnosopchinskoye ore occurrence entered the contact zone from the rocks of the layered series due to the activation of the ore matter during intrusion of the late gabbroid intrusive phase. The Fedorova Tundra deposit entered the contact zone together with the late ore-bearing gabbro-norite magmatic phase.

**Keywords:** layered intrusions, platinum group elements, contact mineralization, Kola region

#### Funding information

The research was carried out within the framework of the research topic AAAA-A19-119100290147-7

#### Acknowledgements

The authors thank N.Y. Groshev and P.V. Pripachkin for valuable advice and explanations. The authors also express their deep gratitude to the reviewers, whose significant comments contributed to the improvement of the text in content and form.

## ВВЕДЕНИЕ

Важной проблемой как с фундаментальной, так и прикладной точки зрения является понимание условий образования сульфидного содержащего элементы платиновой группы (ЭПГ) Cu-Ni-оруденения мафит-ультрамафитовых расслоенных интрузий. В особенной степени это касается формирования значимых концентраций этих рудных компонентов, когда речь идет о промышленно рентабельных месторождениях.

В одних случаях образование Cu-Ni-ЭПГ руд связано с внутрикамерной дифференциацией расплава, разделением его силикатной и сульфидной составляющих и кристаллизацией полезных компонентов *in situ*, в других – с внедрением в глав-

ную магматическую камеру дополнительных порций расплава.

Во втором случае, когда рудоносный расплав внедряется в еще не застывшие (практически жидкие) породы, он сначала нарушает ход кристаллизации, но затем ситуация стабилизируется и далее отложение сульфидов происходит в относительно спокойной обстановке. В таких условиях, при достаточно больших объемах магматической камеры, как правило, образуются ЭПГ-содержащие рифы. Такие рифы обычно удалены от подошвы массива, приурочены к определенным стратиграфическим уровням и протягиваются на значительные (десятки км) расстояния по простиранию. При этом их мощность (первые м), как и средние содержания ЭПГ (в пределах первых г/т), могут быть до-

статочны невелики. Классическими примерами таких месторождений являются Риф Меренского в массиве Бушвельд (ЮАР), J-М риф массива Стиллуотер (США), ЭПГ-риф комплекса Порtimo (Финляндия) (Налдретт, 2003; Sawthorn, 2010; Maier et al., 2013; Pijina et al., 2015).

Но при формировании мафит-ультрамафитовых массивов также известны сценарии, когда дополнительные магматические фазы (причем не обязательно рудоносные) внедряются в уже практически застывшие породы главной магматической камеры. Тогда привнесенный материал не может проникнуть далеко вглубь камеры, концентрируется в основном в ее краевых частях. Такие дополнительные внедрения сопровождаются взламыванием уже застывших пород более ранних фаз, образованием в них систем трещин и т. д. Поэтому эти процессы всегда сопровождаются интенсивным брекчированием пород, наличием заполняющих трещины жил и пегматоидных тел. Формирование Cu-Ni-ЭПГ-оруденения при этом происходит в зоне контакта ранних и поздних фаз (как уже говорилось, в краевых частях камеры), поэтому некоторыми исследователями такой тип минерализации называется контактовым (контактным) (Zientec, 2012; Karykowski et al., 2018). Если более поздние фазы были рудоносными и достаточно большими по объему, то нередко образуются достаточно крупные месторождения ЭПГ. В отличие от месторождений рифового типа для контактовых не характерны выдержанные по простиранию рудные тела и их приуроченность к определенным стратиграфическим уровням интрузий. Как правило, здесь рудные тела довольно плохо геометризуются и весьма сложно увязываются в скважинных пересечениях. При этом мощности рудных тел в раздувах могут достигать достаточно больших значений (десятков м), а колебания содержания ЭПГ более контрастны, чем в рифовом типе (от первых до сотен г/т).

Примерами месторождений контактового типа служат маргинальные руды интрузий Ист Булл Лейк и Ривер Вэлли в южном Онтарио (Канада) (Peck et al., 2001; Easton et al., 2010), Платриф (ЮАР) (Налдретт, 2003) и месторождение Маратон в комплексе Колдвелл, Онтарио (Barrie et al., 2002), а также зона Роби интрузии Лак Дес Иль (Канада) (Naldrett et al., 1990; Barnes, Gornwe, 2011; Duran et al., 2013).

На территории Балтийского щита месторождения ЭПГ контактового типа имеются в интрузиях Порtimo (Pijina, 2008; Pijina et al., 2015) и Койл-лисмаа (Alapieti et al., 1990; Alapieti, Lahtinen, 2002; Makkonen et al., 2017) в Северной Финляндии (рис. 1).

На Кольском полуострове в настоящее время известен целый ряд месторождений, рудопроявлений и точек минерализации ЭПГ, связанных с рас-

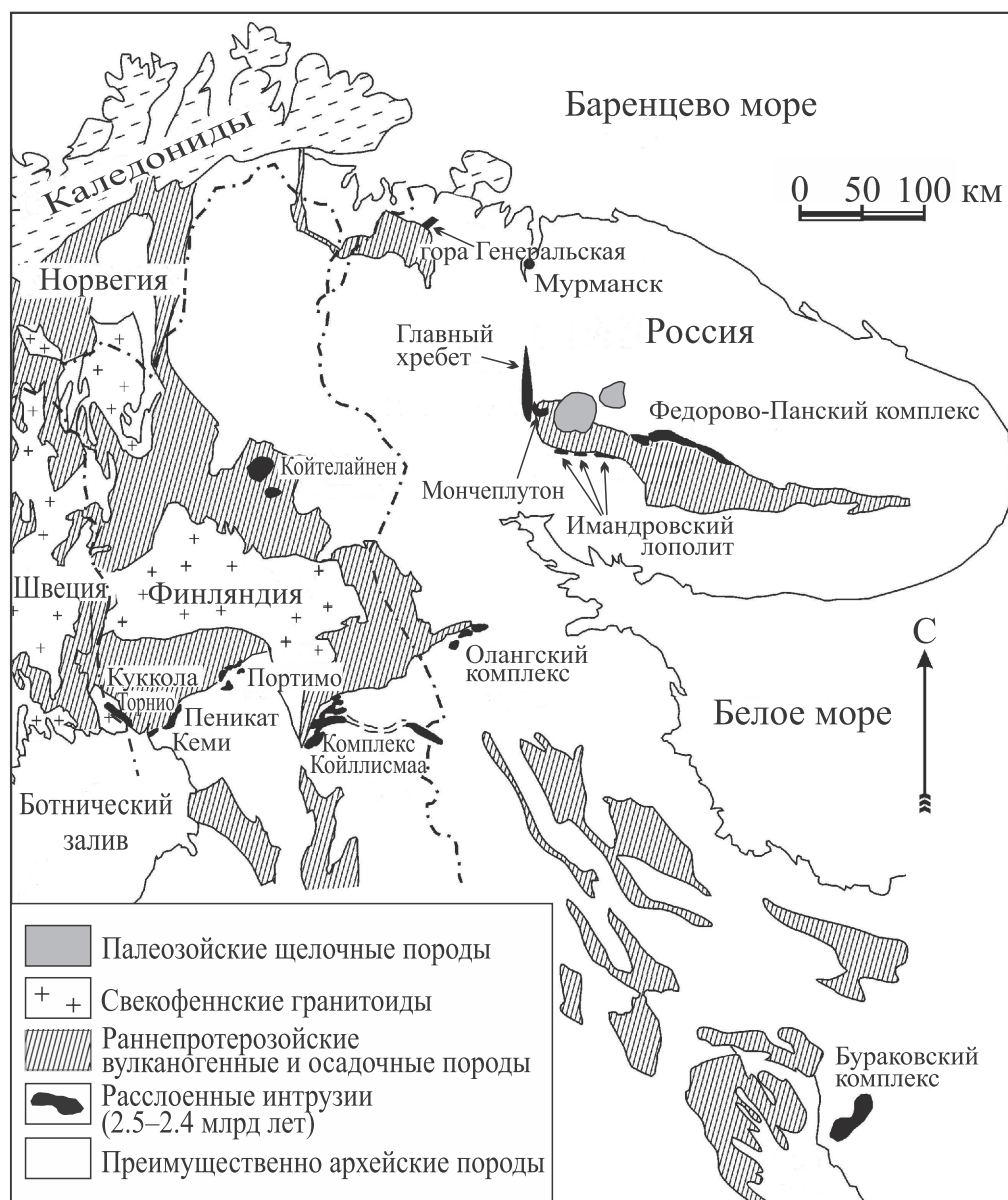
слоенными интрузиями, данные о крупнейших из них содержатся в сводке (Припачкин, 2019).

Важно отметить, что при открытии в 1990-е гг. Кольской платинометалльной провинции (Митрофанов и др., 1994) первыми детально исследованными ЭПГ-содержащими объектами стали массивы Федорово-Панского мафит-ультрамафитового расслоенного комплекса (ФПК).

Здесь усилиями сотрудников ГИ КНЦ РАН и созданного при нем ЗАО (затем – ОАО) “Пана”, в достаточно короткий срок (2006–2008 гг.) на баланс ГКЗ было поставлено несколько месторождений ЭПГ. Особенно успешными на начальных этапах были работы в пределах Западно-Панского массива, где выявлено несколько платиноносных уровней, связанных с нижним и верхним расслоенными горизонтами в габбро-норитовой толще (Корчагин и др., 2009). ЭПГ-минерализация рифового типа в них характеризовалась достаточно высокими содержаниями (до 40 г/т) и прекрасной выдержанностью по простиранию (до 12 км), что позволяло уверенно проследить ее буровыми скважинами (Карпов, 2004; Корчагин и др., 2009). Это привело к открытию месторождения Восточный Киев (Северный риф) в пределах нижнего расслоенного горизонта (Корчагин и др., 2009). Примерно в то же время было открыто и месторождение Вурэчуайвенч в Мончегорском расслоенном плутоне, которое по строению (приуроченность к расслоенному горизонту в габбро-норитах) и характеристикам ЭПГ-минерализации считалось близким к Северному рифу, связанному с нижним расслоенным горизонтом Западно-Панского массива (Иванченко и др., 2008).

Такие обнадеживающие результаты побудили кольских геологов (ГИ КНЦ РАН, ОАО “Пана”, ОАО ЦКЭ, ООО КГГК) искать продолжение ЭПГ-рифов как в ФПК, так и в Мончеплутоне. В результате в пределах первого параллельно с Западно-Панскими открыто месторождение ЭПГ Восточное Чуарвы в Восточно-Панском массиве (Казанов, Калинин, 2008; Уорд и др., 2008; Корчагин и др., 2009), а в пределах второго – рудная зона месторождения Вурэчуайвенч продлена путем включения в нее Рудного Пласта–330 массива Сопча и оруденения расслоенной части Южноопчинского массива (ЮМ) (Иванченко, Давыдов, 2009).

Казалось, что методика, отработанная при поисках рифового типа ЭПГ-минерализации, будет успешно работать и на других перспективных объектах в пределах ФПК и Мончеплутона. Однако при разведочных работах в пределах массива Федоровой Тундры (массив ФТ) геологи ОАО “Пана” столкнулись с определенными трудностями, так как здесь невозможно было протянуть отдельные слои или протяженные линзы рудоносных пород, как это происходило на месторождениях рифового типа. На базе опыта по изучению Северного



**Рис. 1.** Схема геологического строения северо-восточной части Балтийского щита и расположение раннепротерозойских расслоенных мафит-ультрамафитовых интрузий, по (Alapieti et al., 1990) с изменениями.

**Fig. 1.** Scheme of the geological structure of the northeastern Baltic Shield and location of Early Proterozoic layered mafic-ultramafic intrusions, modified after (Alapieti et al., 1990).

платиноносного рифа, прослеженного на 12 км в пределах Западно-Панского массива, первоначально и в массиве ФТ предпринимались попытки увязать отдельные рудные линзы и штоки в линейные структуры. Дальнейшие работы показали несостоятельность такого подхода. Выяснилось, что ЭПГ-оруденение связано с крайне неоднородным габбро-норитовым телом, насыщенным разнообразными жилами и ксенолитами – отдельной магматической фазой, более поздней по сравнению с глав-

ным интрузивным телом массива (Schissel et al., 2002; Грошев, 2010; Groshev et al., 2019). Тогда стало ясно, что оруденение Федоровой Тундры относится не к рифовому, а к контактовому типу и высокие содержания ЭПГ связаны именно со второй (рудной) фазой. Понимание этого процесса помогло значительно оптимизировать поисково-разведочные работы и в результате на госбаланс было поставлено крупнейшее в Европе месторождение ЭПГ (Schissel et al., 2002; Грошев, 2010; Groshev et al., 2019).



Позднее и у геологов, изучавших Мончеплутон, возникли сомнения в том, можно ли объединять риф месторождения Вурэчуайвенч и Южносопчинское рудопоявление. Так, в ходе полевых работ 2011–2012 гг. установлено, что в пределах обнаженной части Южносопчинского рудопоявления (ЮР) ЭПГ-минерализация связана не с расслоенной серией, а с жильными телами краевой серии, характеризующейся развитием эруптивной брекчии. Убедительно показано, что в исследованной части ЮР наблюдается контакт двух магматических фаз, а ЭПГ-минерализация ЮР так же, как и в случае с месторождением Федорова Тундра (МФТ), относится к контактовому типу (Рундквист и др., 2011, 2012; Pripachkin et al., 2016). Однако при этом возник вопрос: может быть, существует аналогия не только в геологическом строении ЮР и МФТ, но и в условиях образования малосульфидной ЭПГ-минерализации обоих объектов?

Ответ на данный вопрос могло дать сравнение геологического строения, характера и условий локализации, а также состава ЭПГ-минерализации МФТ и ЮР. В фундаментальном плане это сравнение важно, чтобы понять, являются ли условия образования ЭПГ-минерализации в ЮР сходными с таковыми для МФТ или мы имеем дело с ранее не описанным для объектов Кольской платинометалльной провинции процессом. В прикладном смысле такое сравнение должно помочь выработать эффективные прогнозно-поисковые критерии, учитывающие специфику генезиса контактового ЭПГ-оруденения в расслоенных мафит-ультрамафитовых интрузиях Кольского региона. Решению вопроса о сходстве (или различии) условий образования ЭПГ-минерализации ЮР и МФТ, а также вытекающих из этого прикладных следствиях посвящена настоящая статья.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа выполнена на основе собственных исследований авторов, проводимых на различных участках Федорова-Панского и Мончегорского расслоенных комплексов. Выполнена обработка данных о химическом составе пород массивов Федорова Тундра и Южносопчинский (петрогенные, редкие (РЭ) и редкоземельные (РЗЭ) элементы), приведенных ранее в работах (Грошев, 2010, 2011) и (Pripachkin et al., 2016) соответственно. Химический анализ петрогенных компонентов (полный силикатный анализ) выполнен в химико-аналитической лаборатории Геологического института ФИЦ КНЦ РАН с использованием таких методов, как атомно-абсорбционный плазменный (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Cu, Ni, V), эмиссионный пламенный (K, Na) и колориметрический (Ti). Анализ элементов-примесей выполнен в ИГГ УрО РАН (г. Екате-

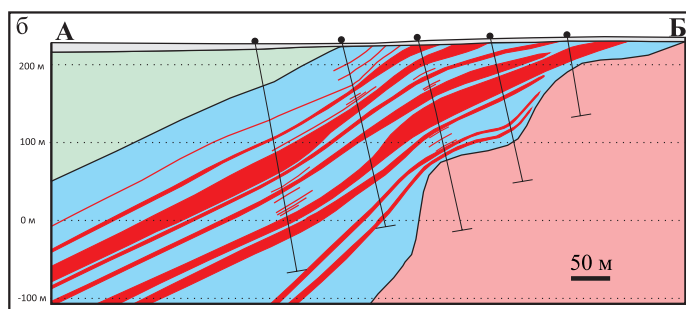
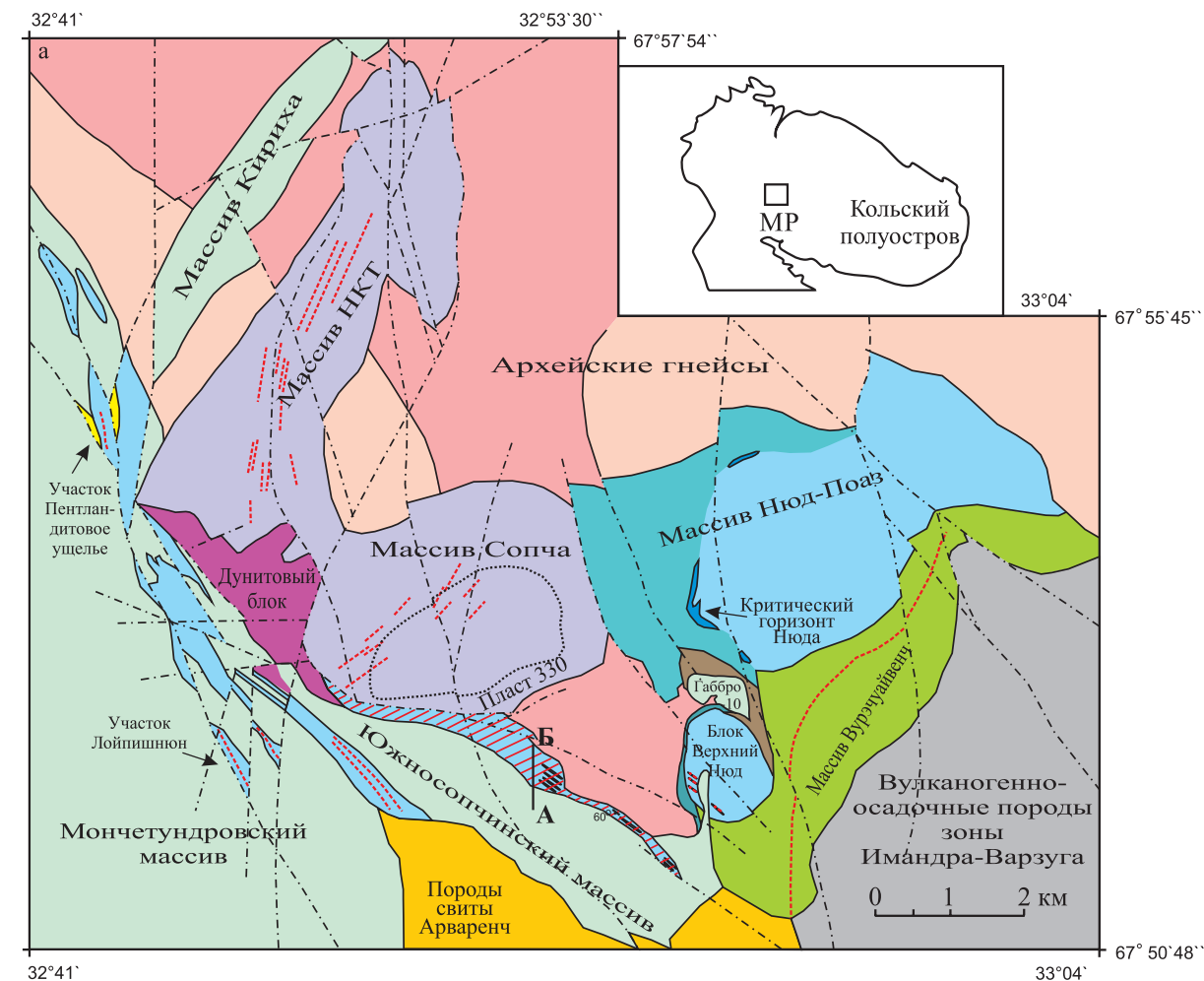
ринбург) с помощью ICP-MS анализа на квадрупольном масс-спектрометре NexION 300S (Perkin Elmer, США), аналитик Д.В. Киселева.

Данные о содержании Pd, Pt, Au, Ni и Cu взяты из производственных отчетов (Ноздря и др., 2006; Иванченко и др., 2009), находящихся в открытом доступе в Мурманском филиале ФБУ “ТФГИ по Северо-Западному федеральному округу” (г. Апатиты). Во время работ по подсчету запасов МФТ содержание Pt, Pd и Au определялось пробирным анализом с ICP окончанием. Содержания Cu и Ni устанавливали атомно-абсорбционным методом с предварительным разложением в царской водке. Работы выполнены в лаборатории ALS Chemex (Ванкувер, Канада) и Механобр-Аналит (Санкт-Петербург). Внешний контроль осуществлялся в лаборатории ГИПРОНИКЕЛЬ (Санкт-Петербург) и аналитическом центре ХТЛ АО ИРГИРЕДМЕТ (г. Иркутск). При проведении поисковых работ на участке Южносопчинский для определения Pt, Pd и Au использовался метод пробирной атомно-эмиссионной спектроскопии (ICP AES) после предварительной плавки на никелевый штейн, для определения Ni и Cu – метод атомно-абсорбционной спектроскопии. Анализ выполнен фирмой ЗАО “НАТИ” в лаборатории Геологической Службы Финляндии (GSF-Финляндия). Внешний контроль проводился ЛТИС ОАО “Институт Гипроникель” (Санкт-Петербург).

Следует отметить, что сульфидная медно-никелевая минерализация и ассоциирующее с ней платинометалльное оруденение распределены неравномерно. Ввиду отсутствия каких-либо геологических границ общая мощность рудоносных зон устанавливается только по результатам опробования. В связи с этим большое внимание уделяется пробоподготовке и контролю химико-аналитических работ. Контроль качества различных аналитических методов выполняется по регламенту введением стандартных проб и образцов-дубликатов. Поэтому данные опробования дают наиболее надежную характеристику объектов и используются при подсчете запасов.

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЮЖНОСОПЧИНСКОГО МАССИВА

Южносопчинский массив находится в южной части Мончегорского рудного района (рис. 2). Мончегорский рудный район расположен в центре Кольского полуострова, в области сочленения трех крупных докембрийских геологических структур: Беломорского подвижного пояса, Кольского блока и Имандра-Варзугской зоны карелид (Mitrofanov et al., 1995; Пожиленко и др., 2002; Смолькин и др., 2004). Данная территория отличается крайне сложным геологическим строением, во многом обусловленным значительной длительностью раз-



- Четвертичные отложения
- Диориты массива Габбро-10
- Породы Критического горизонта Нюда
- Амфиболитизированные габбро-нориты и амфиболовые сланцы по габброидам
- Габбро-нориты и анортозиты
- Габбро-нориты, габбро
- Анортозиты
- Нориты
- Оливиновые нориты
- Перидотиты, пироксениты, меланократовые нориты
- Дуниты, перидотиты, хромитовые руды
- Раннепротерозойские вулканогенно-осадочные породы зоны Имандра-Варзуга
- Раннепротерозойские дациты и риолиты свиты Арваренч
- Архейские диоритогнейсы (а) и гранитогнейсы (б)
- Разрывные нарушения
- Сульфидная и ЭПГ-минерализация
- Рудные тела (на разрезе)

**Рис. 2.** Схема геологического строения Мончегорского рудного района, по (Войтехович и др., 2002) с изменениями (а), схематический геологический разрез через рудную зону Южносопчинского рудопроявления (по линии А–Б), по (Иванченко и др., 2009) с изменениями (б) и фото жилы плагиоклаз-пироксенового состава в норите в коренном обнажении на участке Южносопчинский (в).

МР – Мончегорский район, НКТ – массив Ниттис-Кумужья-Травяная.

**Fig. 2.** Scheme of the geological structure of the Monchegorsk ore region, modified after (Voitekhovich et al., 2002) (a), a schematic geological section through the ore zone of the Yuzhnosopchinsky ore occurrence (long the A–B line), modified after (Ivanchenko et al., 2009) (b), and a photo of a vein of plagioclase-pyroxene composition in norite in a bedrock outcrop at the Yuzhnosopchinsky site (v).

МР – Monchegorsk region, НКТ – Nittis-Kumuzhya-Travyanaya massif.

вития, многократным внедрением больших объемов магм различного состава и многоэтапностью структурно-тектонических и динамометаморфических преобразований.

В этом районе находятся два крупных раннепалеопротерозойских расслоенных мафит-ультрамафитовых комплекса с Cu-Ni-ЭПГ-минерализацией, локализованных в восточной части Балтийского щита и представляющих собой крупнейшую в мире потенциальную платиноносную провинцию: Мончегорский комплекс, включающий в себя Мончегорский плутон и Мончетундровскую интрузию, и комплекс Главного Хребта (или Чун-Волчьих-Лосевых тундр) (Чащин, Митрофанов, 2014). Некоторые исследователи (Гроховская и др., 2012; Шарков, Чистяков, 2014) под Мончегорским комплексом понимают все перечисленные интрузии.

ЮМ рассматривается как тектонический фрагмент или как небольшая самостоятельная субкамера Мончетундровской интрузии (Гроховская и др., 2012; Чащин и др., 2020). Массив протягивается на расстояние около 10 км в северо-западном направлении и, по данным бурения, погружается на юго-запад под углом от 5 до 45°. С юго-запада ЮМ граничит с породами раннепротерозойского комплекса горы Арваренч, с северо-востока контактирует с диоритогнейсами вежетундровского комплекса, с севера – с породами Мончегорского комплекса, а на северо-западе, через зону разломов, соединяется с собственно Мончетундровской интрузией.

Во внутреннем строении ЮМ выделяются две зоны: нижняя норит-ортопироксенитовая и верхняя габбровая. Нижняя зона мощностью 250–300 м представлена незакономерным чередованием прослоев метаноритов и метапироксенитов мощностью от 1 до 20 м со шлирами и участками неправильной формы пегматоидных разновидностей, а также с подчиненным количеством метапериодитов. Свежие породы в составе зоны встречаются крайне редко, как правило, все они интенсивно амфиболизированы и сосюритизированы (Чащин и др., 2016). Верхняя зона массива мощностью до 80 м сложена лейко- и мезократовыми крупнозернистыми пятнистыми метагаббро и метагаб-

бро-норитами, сходными по химическому составу с габброидами верхней зоны Мончетундровского массива (Гроховская и др., 2012).

Возраст пород ЮМ определен U–Pb методом по циркону. Возраст метаноритов нижней зоны  $2504 \pm 1$  млн лет, а среднезернистых мезократовых габбро верхней зоны  $2478 \pm 20$  млн лет (Чащин и др., 2016). В зоне контакта между верхней и нижней частями ЮМ наблюдается магматическая брекчия, что указывает на последовательное внедрение двух магматических фаз (Priпachkin et al., 2016). Кроме того, в зоне контакта присутствуют многочисленные жильные тела. Среди пород жильного комплекса выделяются две главные разновидности: жилы плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава и жилы кварц-полевошпатового состава (Мирошникова, 2022). Развитие жильных и дайковых тел весьма характерно для контактовых серий расслоенных интрузий (Припачкин, 2018; см. также ссылку в этой работе).

По данным оценочных работ (Иванченко и др., 2009), малосульфидное платинометалльное оруденение в пределах ЮР связано с нижней зоной одноименного массива. Рудоносная зона приурочена к участкам метапироксенитов, насыщенных телами “габбро-пегматитов”. Мощность зоны с малосульфидной платинометалльной минерализацией составляет 150–200 м. Мощность “габбро-пегматитовых” горизонтов невыдержанная и колеблется от 0.05–0.3 до 3.0–5.0 м. Авторы информационного отчета указывают, что селективное выделение отдельно взятого “габбро-пегматитового” горизонта практически невозможно, а рудное тело, по сути, является линейным штокверком, насыщенным рудными “габбро-пегматитами”, разделенными прослоями относительно слаборудных вмещающих пород (Иванченко и др., 2009).

Эти данные в сочетании с наблюдениями на дневной поверхности (Рундквист и др., 2011, 2012, 2016; Priпachkin et al., 2016; Мирошникова и др., 2019) указывают на то, что ЮР принадлежит к контактовому типу месторождений ЭПГ. Главными характерными признаками являются приуроченность рудной зоны к контакту двух магматических



фаз и невыдержанность слоев отдельных пород по простираанию.

По данным Т.Л. Гроховской и соавторов (2012), ЭПГ-минерализация в краевой части ЮМ также связана с пегматоидными пироксенитами, которые образуют шлиры, участки неправильной формы и жильные образования среди среднезернистых пироксенитов. Пегматоидные пироксениты содержат вкрапленность и шлиры борнит-халькопирит-миллеритового состава. Оксидные вкрапленники сложены ильменитом и магнетитом, образующими структуры распада.

К настоящему времени в ЭПГ-проявлениях ЮМ установлено более 20 различных видов минералов платиновых металлов (МППМ) – висмутотеллуриды и арсениды Pd, сульфиды Pt и Pd. Наиболее распространены является меренскийит ( $\text{PdTe}_2$ ), часто встречается сперрилит ( $\text{PtAs}_2$ ), несколько реже сульфиды ряда брэггит  $[(\text{Pt}, \text{Pd}, \text{Ni})\text{S}]$  – куперит ( $\text{PtS}$ ) – высокоцит  $[(\text{Pd}, \text{Ni})\text{S}]$  и другие минералы. Содержания ЭПГ в рудах не превышают 1–2 г/т с отношением  $\text{Pd}/\text{Pt} = 3\text{--}4$  (Гроховская и др., 2012) и  $\text{ЭПГ}/\text{S} = 4.9$ .

#### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МАССИВА ФЕДОРОВА ТУНДРА

Массив Федорова Тундра – это западная часть ФПК, представляющего собой почти непрерывный пояс расслоенных массивов северо-западного простираания протяженностью около 90 км при мощности до 6 км, который граничит с архейскими гранитоидами и метавулканиками палеопротерозойского зеленокаменного пояса Имандра-Варзуга с тектонизированными контактами между ними (Alapieti et al., 1990; Groshev et al., 2019).

ФПК включает в себя четыре интрузии с запада на восток: Федорова Тундра, Ластьявр, Западная Пана и Восточная Пана. Большинство исследователей считают, что каждая интрузия ФПК представляет собой отдельную магматическую камеру с независимой стратиграфией и историей образования (Groshev et al., 2019).

Интрузия Федорова Тундра – погружающееся на юго-запад клиновидное в плане тело шириной от нескольких сотен м до более 6 км и длиной около 15 км, ограниченное на юго-востоке зоной Цагинского разлома (рис. 3; Groshev et al., 2019). Расслоенность массива обычно погружается под углом от 40 до 60° к юго-западу (Schissel et al., 2002).

В строении массива ФТ выделяются две серии пород: краевая и расслоенная (Грошев, 2010, 2011). Краевая серия представляет собой эруптивную брекцию с обломками ультрамафитов расслоенной серии и матрицей рудоносных такситовых габбро-норитов, а в расслоенной серии развито линзовидно-ритмичное грубое и тонкое чередование пород. Краевая серия слагает нижний

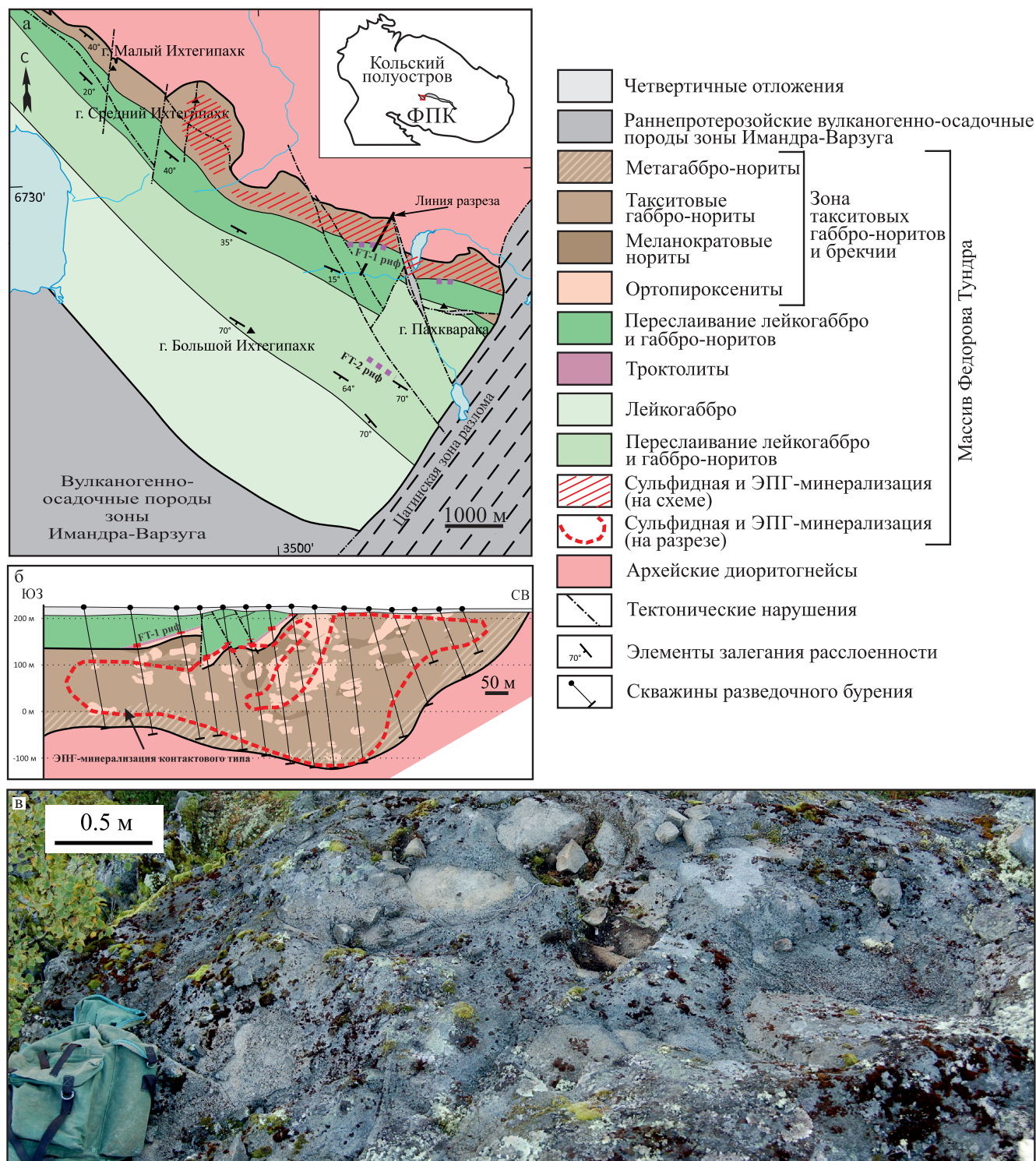
северо-восточный край массива и протягивается на всю его длину, образуя желобообразные углубления в породах фундамента шириной до 1.5 км. Мощность серии колеблется от первых десятков м на участке выклинивания массива на северо-западе до 800–900 м в местах желобообразных углублений и в среднем составляет около 250 м (Грошев, 2010, 2011). Краевая серия сложена преимущественно такситовыми габбро-норитами. Такситовая текстура обусловлена резкими колебаниями размеров минеральных зерен в породах: в пределах относительно небольших участков можно наблюдать незакономерно чередующиеся между собой мелкозернистые, среднезернистые, крупнозернистые и пегматоидные габбро-нориты. Габбро-пегматиты детально описаны Г.Н. Старицыной; по химическому и минеральному составу они соответствуют вмещающим их габбро-норитам, обогащенным легкоплавкими компонентами (Старицына, 1958). В породах часто присутствует сульфидная вкрапленность (0.5–1.5 об. %). Кроме того, в нижней приконтактной части встречаются разнообразных диориты (гибридные пироксеновые и амфиболовые), которые имеют сложную генетическую связь с массивом и переходят в породы фундамента. Повсеместно в краевой серии отмечаются эруптивные брексии с обломками ультрамафитовых пород расслоенной серии (Грошев, 2010, 2011).

В породах краевой серии часто присутствуют голубой кварц и сульфидная вкрапленность, которые в породах расслоенной серии встречаются крайне редко. С вкрапленностью сульфидов связаны повышенные и высокие содержания ЭПГ (от первых г/т в северо-западной до первых десятков г/т в юго-восточной части краевой серии (Грошев, 2010; Субботин и др., 2012)). Данное ЭПГ-оруденение относится к контактовому типу и на юго-восточных участках формирует МФТ (Schissel et al., 2002; Грошев, 2010; Groshev et al., 2019).

Расслоенная серия имеет видимую мощность до 4700 м и подразделяется на три зоны: ультрамафитовую (энстатитовые и оливин-энстатитовые кумулаты), нижнюю базитовую (энстатит-авгит-плагиоклазовые и плагиоклазовые кумулаты) и верхнюю базитовую (плагиоклазовые кумулаты) (Грошев, 2010, 2011). Нижний контакт расслоенной серии является интрузивным, здесь расслоенная серия несет следы воздействия на нее краевой серии. В плагиоклазовых кумулатах нижней базитовой зоны, в случае их контакта с мезократовыми такситовыми габбро-норитами краевой серии, хорошо видны секущие жильные тела последних с закаленными зальбандами. Породы краевой серии срезают риф ФТ-1 (риф Случайный) нижней базитовой зоны (Грошев, 2010; Грошев, Степенников, 2019).

По этому ряду признаков и геохронологическим данным в массиве ФТ выделяется две фазы внедре-





**Рис. 3.** Схема геологического строения массива Федорова Тундра (а), схематический геологический разрез через центральную часть месторождения Федорова Тундра (б) и фото коренного обнажения магматической брекчий в зоне рудоносных такситовых габбро-норитов (в), по (Грошев, Степенщиков, 2019) с изменениями. ФПК – Федорово-Панский комплекс.

**Fig. 3.** Scheme of the geological structure of the Fedorova Tundra massif (a), a schematic geological section through the central part of the Fedorova Tundra deposit (б) and a photo of exposed igneous breccia in the ore-bearing taxitic gabbro-norites (в), modified after (Groshev, Stepenshchikov, 2019). ФПК – Fedorovo-Pansky complex.

ния: расслоенная серия – как более древняя первая фаза внедрения массива ( $2526 \pm 6 - 2507 \pm 11$  млн лет), краевая рудоносная серия – как более поздняя интрузивная фаза ( $2491 \pm 8 - 2485 \pm 9$  млн лет) (Дубровский, Рундквист, 2008; Грошев и др., 2009; Грошев, 2010).

Месторождение контактового типа Федорова Тундра обнаружено в приподошвенной толще массива. Общая протяженность рудной зоны  $\approx 3$  км при средней мощности 60 м и максимальной мощности до 280 м. Распределение сульфидов в рудных телах неравномерное (Schissel et al., 2002; Грошев, 2010; Groshev et al., 2019).

Рудная зона содержит 2–5 об. % сульфидов. Главными рудными минералами рассеянной малосульфидной минерализации являются халькопирит, пирротин и пентландит, встречающиеся в относительных пропорциях 41.35 и 24 об. % соответственно. Пирит, троилит, ильменит, магнетит, макиавит, марказит, кубанит, миллерит, борнит, сфалерит и виоларит присутствуют как в виде вторичных, так и акцессорных минералов, составляя до 5% всех рудных минералов (Грошев, 2010; Субботин и др., 2012).

ЭПГ могут находиться в виде МПМ или присутствовать изоморфно в сульфидах основных металлов, главным образом в пентландите, который содержит в среднем 420–480 г/т Pd. Всего в составе оруденения МФТ диагностировано 29 МПМ и золота. Котульскит (PdTe), брэггит и меренскиит являются наиболее распространенными минералами, которые определяют сульфид-висмутотеллуридную ассоциацию ЭПГ-оруденения. Реже встречаются мончеит  $[\text{Pt}(\text{Te}, \text{Bi})_2]$ , высоцкит, соболевскит (PdBi), стиллуотерит ( $\text{Pd}_8\text{As}_3$ ), золото и сперилит (Грошев, 2010; Субботин и др., 2012).

Содержание Pt + Pd в руде МФТ составляет в среднем 1.49 г/т при отношении Pd/Pt = 4.1, средние содержания Cu и Ni – 0.12 и 0.08 мас. % соответственно при отношении Cu/Ni = 1.5 и ЭПГ/S = 4.8, запасы Pt, Pd и Au оцениваются в 348 т (Groshev et al., 2019).

#### СОПОСТАВЛЕНИЕ ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОРОД

Породы двух массивов были разбиты на сопоставимые группы: пироксениты и нориты, габбро и габбро-нориты (далее – габброиды), жильные породы. В отдельную группу выделены породы краевой серии (такситовые габбро-нориты) массива ФТ, которым не найдено аналога среди пород ЮМ.

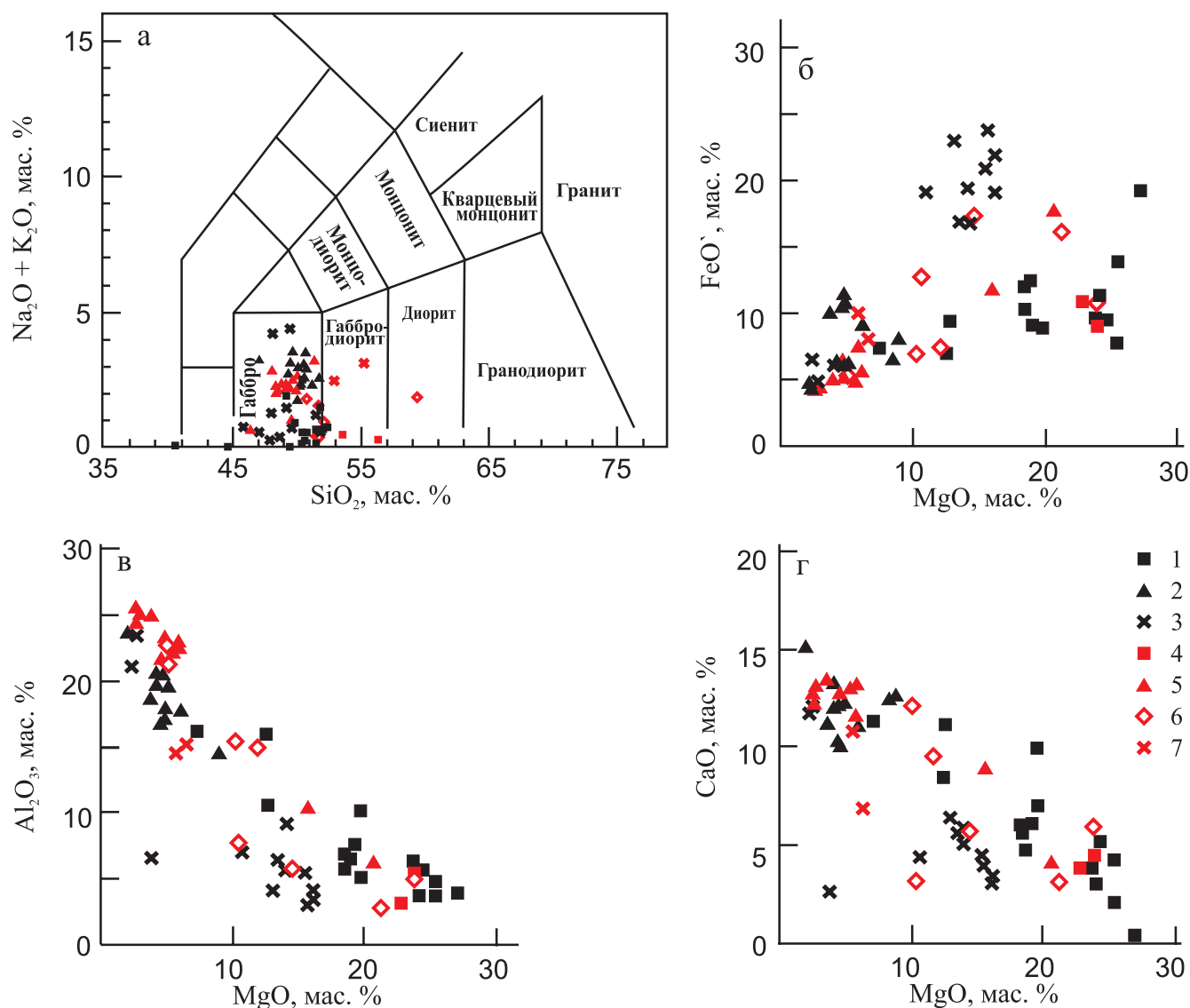
На диаграмме TAS для плутонических пород (рис. 4а) подавляющее большинство точек группируются в поле габбро. Пироксениты массива ФТ существенно более кремнистые по сравнению с пироксенитами ЮМ. Обе проанализированные жиль-

ные породы массива ФТ соответствуют габбро-диоритам, а одна из пород краевой серии – диоритам. Последнее указывает на контаминацию краевой серии массива ФТ породами рамы – архейскими диорито-гнейсами, что отмечалось в более ранних работах (Грошев, 2010, 2011). Большинство жильных пород ЮМ отличаются от всех прочих пород двух массивов повышенной железистостью (рис. 4б). У габброидов массивов имеются небольшие, но систематические различия по содержанию  $\text{FeO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO (рис. 4б, в, г). Это означает, что, несмотря на внешнее и структурно-текстурное сходство, породы габбровой зоны массива ФТ соответствуют габбро, а аналогичные породы ЮМ – преимущественно габбро-норитам. Состав пород краевой серии массива ФТ характеризуется достаточно широким разбросом значений по содержанию петрогенных компонентов.

На графиках Cr–Ti и Cr–V (рис. 5а, б) хорошо видно, что все породы ЮМ отличаются от пород массива ФТ более высоким содержанием Ti, Cr и V. Содержание Cu в пироксенитах и норитах ЮМ колеблется в широких пределах, в отдельных пробах превышая 2000 г/т (рис. 5в). Содержание Cu и Ni в жильных породах ЮМ устойчиво высокое, так же как и в породах краевой серии массива ФТ. Габброиды ЮМ и габбро массива ФТ (за исключением отдельных образцов) отличаются низким содержанием Cu и Ni (рис. 5в, г). Эти данные показывают, что поздняя габброидная интрузивная фаза ЮМ обогащена Ti и V, но обеднена Cu и Ni и не может служить источником рудного вещества для Южносибирского рудопроявления.

Спектры распределения РЗЭ и РЭ элементов представлены на рис. 6. Для слабоизмененных норитов и пироксенитов ЮМ характерны пологие спектры распределения РЗЭ, низкое суммарное содержание РЗЭ (7.5–15.8 г/т) (см. рис. 6а, б). Европиевые аномалии выражены очень слабо. Метаморфизованные разности норитов и пироксенитов демонстрируют искаженные спектры, где отчетливо виден вынос РЗЭ (сумма РЗЭ = 2.1–4.1 г/т), и появление отрицательной Eu-аномалии. Рисунок спектров РЗЭ для пироксенитов массива ФТ практически не отличается от такового ЮМ, однако суммарное содержание РЗЭ еще ниже (5.3–8.8 г/т). Спайдерграммы РЭ, нормализованные по примитивной мантии, для большинства норитов и пироксенитов обоих массивов демонстрируют отрицательные Nb- и Ta-аномалии. Большинство спайдерграмм для норитов и пироксенитов показывают положительную аномалию Sr, что связано с изоморфным замещением кальция стронцием в породообразующих минералах. Спайдерграммы РЭ метаморфизованных норитов и пироксенитов ЮМ показывают значительный вынос большинства элементов, в особенности Ba и Zr.

Распределение РЗЭ и РЭ в габброидах двух массивов сходно (см. рис. 6в, г). Для габбро-норитов и



**Рис. 4.** Диаграмма TAS (Middlemost, 1994) и вариационные бинарные диаграммы для главных разновидностей горных пород массивов Южносопчинского и Федорова Тундра.  
 $\text{FeO}^* = \text{FeO} + 0.9\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

1 – пироксениты и нориты ЮМ, 2 – габбро и габбро-нориты ЮМ, 3 – жильные породы ЮМ, 4 – пироксениты массива ФТ, 5 – габбро массива ФТ, 6 – породы краевой серии массива ФТ (такситовые габбро-нориты), 7 – жильные породы массива ФТ.

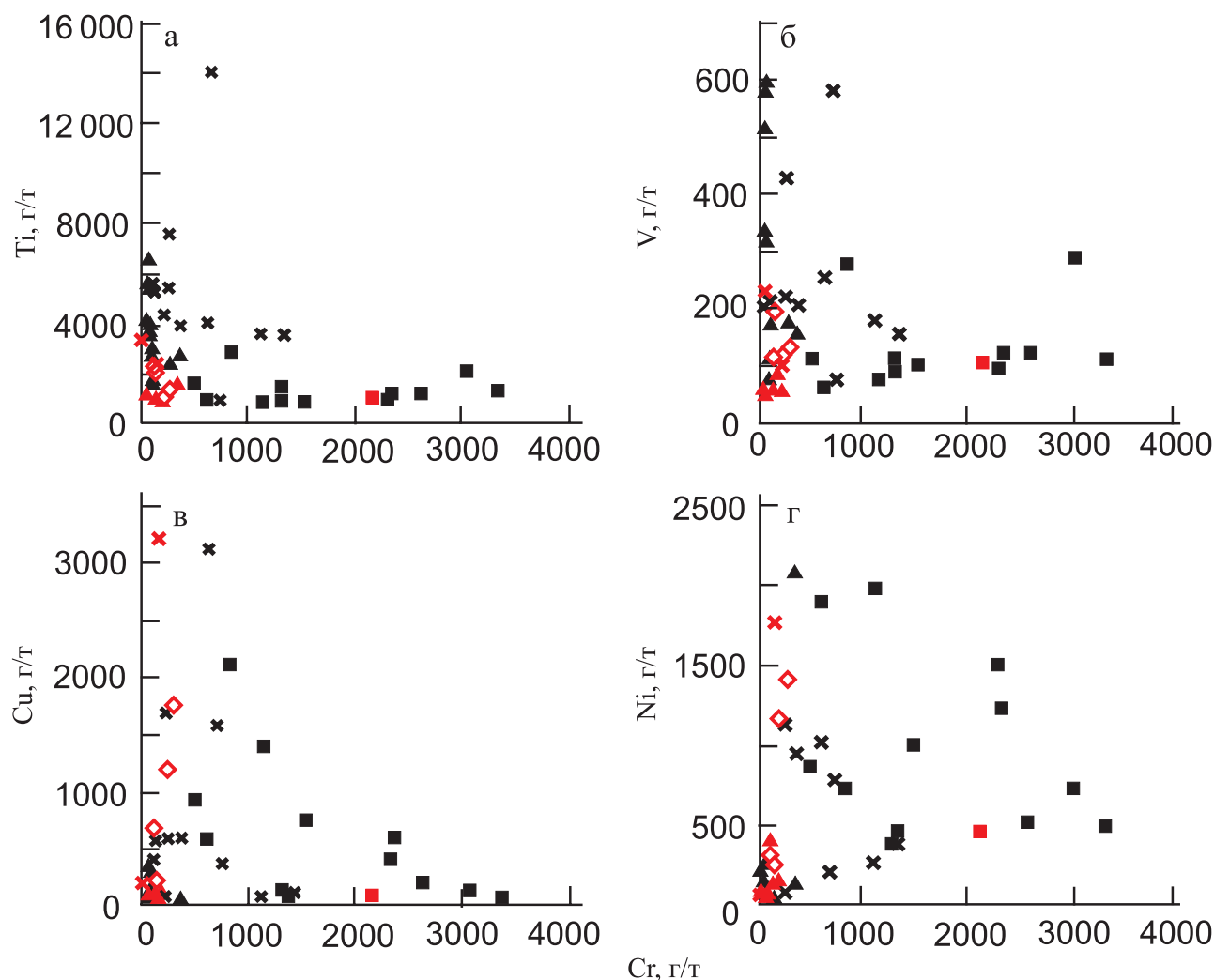
**Fig. 4.** TAS diagram (Middlemost, 1994) and variational binary diagrams for the main rock varieties at the Yuzhno-sopchinsky and the Fedorova Tundra massifs.  
 $\text{FeO}^* = \text{FeO} + 0.9\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

1 – pyroxenites and norites of the YuM, 2 – gabbros and gabbro-norites of the YuM, 3 – vein rocks of the YuM, 4 – pyroxenites of the FT massif, 5 – gabbro of the FT massif, 6 – rocks of the marginal series of the FT massif (taxite gabbro-norites), 7 – vein rocks of the FT massif.

габбро ЮМ и габбро массива ФТ характерны слабонаклонные спектры и более высокая концентрация РЗЭ по сравнению с норитами и пироксенитами. Суммарное содержание РЗЭ в габброидах ЮМ существенно выше, чем в габбро массива ФТ (16.9–57.1 и 6.6–19.3 г/т соответственно). Для всех

образцов обоих массивов характерна положительная Eu-аномалия (для ЮМ  $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1.1\text{--}2.3$ , для МФТ  $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1.2\text{--}1.8$ ), связанная с фракционированием расплава и накоплением плагиоклаза в габброидах. Спайдерграммы РЭ для габброидов обоих массивов демонстрируют положительные ано-





**Рис. 5.** Вариационные бинарные диаграммы Cr–Ti, Cr–V, Cr–Cu и Cr–Ni для главных разновидностей горных пород массивов Южносопчинского и Федорова Тундра.

Условные обозначения – см. рис. 4.

**Fig. 5.** Variational binary diagrams of Cr vs Ti, Cr vs V, Cr vs Cu and Cr vs Ni for the main varieties of rocks at the Yuzhnosopchinsky and the Fedorova Tundra massifs.

Symbols – see Fig. 4.

малии Ti и Sr и для большинства образцов отрицательные аномалии Ta и Nb.

Породы краевой серии МФТ (см. рис. бд, е) показывают разнообразие спектров распределения РЗЭ и РЭ. Суммарное содержание РЗЭ колеблется в широких пределах (6.9–48.3 г/т). Наблюдаются как положительные, так и отрицательные Eu- и Sr-аномалии.

На спайдерграмме РЭ положительные Th, U, Zr и Hf аномалии свидетельствуют о существенной контаминации породами рамы.

На графиках рис. 6ж, з показано распределение РЗЭ и РЭ в жильных породах двух массивов. В жи-

лах ЮМ суммарное содержание РЗЭ составляет 20.8–108.9 г/т, в жилах массива ФТ – 30.2–51.5 г/т. Более высоким содержанием отличается кварц-полевошпатовая жила ЮМ (сумма РЗЭ 243.2 г/т). Все спектры РЗЭ слабонаклонные, для большинства образцов характерны очень небольшие положительные или отрицательные Eu-аномалии, на спайдерграммах РЭ – небольшие положительные или отрицательные Sr аномалии. Титановые пики на спайдерграммах жильных пород ЮМ – как положительные, так и отрицательные – связаны с тем, что в некоторых жилах концентрируется титаномagnetит, а в других жилах он отсутствует.



LITHOSPHERE (RUSSIA) volume 24 No. 1 2024

СОПОСТАВЛЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ  
ОСОБЕННОСТЕЙ ЭПГ-ОРУДЕНЕНИЯ

Сравнение состава руды двух объектов выполнено на основе данных производственных отчетов. Для ЮР использованы все имеющиеся в отчете (Иванченко и др., 2009) результаты опробования (2636 анализов), для МФТ – результаты опробования для одного из разведочных буровых профилей в центральной части месторождения (2357 анализов) (Ноздря и др., 2006). В результате получены две сопоставимые по объему базы данных.

Распределение значений содержаний Pd, Pt, Au, Cu, Ni и суммы Pd + Pt + Au показано на рис. 7 и 10.

На рис. 7 виден в целом сходный характер распределения значений содержания Pd, Pt, Au по разрядам для двух объектов, но очевидно, что содержание всех благородных металлов в рудах МФТ устойчиво выше, чем в рудах ЮР. Однако доля проб ЮР с содержанием Pd от 3.00 до 3.49 и от 4.00 до 4.49 г/т и проб с содержанием Pt от 1.00 до 3.00 г/т и более превышает долю таких проб среди руд МФТ.

Содержание Pt и Au в рудах обоих объектов значительно ниже, чем содержание Pd. Содержание Au в рудах обоих объектов прямо пропорционально содержаниям Pd и Pt (см. рис. 9а, б) и только в единичных случаях превышает 0.5 г/т. По содержанию Au МФТ превосходит ЮР (см. рис. 7д).

Распределение частот суммарного содержания Pd + Pt + Au наиболее ярко показывает более высокие значения этой величины (от 0.50 г/т и выше) для руд МФТ по сравнению с рудами ЮР (см. рис. 7е).

Соотношение Pd и Pt в рудах двух объектов и распределение отношения Pd/Pt показано на рис. 8. Содержания Pd и Pt в руде МФТ связаны очень четкой прямой линейной зависимостью. Точки, отражающие состав руды ЮР, образуют более широкое поле, а линейный тренд ЮР имеет меньший наклон к оси Pd. Эти данные указывают на то, что руда ЮР неоднородна и в среднем немного более “платиновая” и менее “палладиевая”, чем руда МФТ. На гистограмме распределения частот отношения Pd/Pt (см. рис. 8б) отчетливо видно, что распределение отношения Pd/Pt для выборки МФТ имеет в целом закономерный характер, в среднем отношение Pd/Pt = 4.5, что соответствует известным параметрам (Припачкин, 2019). Распределение отношения Pd/Pt для выборки ЮР имеет сложный характер. Одного отчетливого максимума не наблюдается, характерны три пика с высокими значениями Pd/Pt, а большинство значений образуют область от 1 до 7. Такие данные указывают на значительную неоднородность руды ЮР.

Содержание благородных металлов прямо пропорционально содержанию Cu и Ni в рудах обоих объектов (рис. 9в, г). Наиболее отчетливо эта зави-

симость выражена для МФТ, менее четко – для ЮР.

Содержание Cu в рудах данных объектов обусловлено главным образом содержанием сульфидов Cu, преимущественно халькопирита. Руды ЮР и МФТ демонстрируют похожие картины распределения содержания Cu по разрядам (рис. 10а, б), однако руда МФТ заметно более “медистая”.

Содержание Ni не может быть прямо связано с содержанием сульфидов Ni (главным образом пентландита), поскольку Ni входит в состав оливина и пироксенов, изоморфно замещая магний и двухвалентное железо. Содержание Ni в оливине и в пироксенах Федорово-Панского комплекса определялось для Западно-Панского (Латыпов, Чистякова, 2000) и Восточно-Панского (Prigachkin et al., 2023) массивов. В рудоносных породах Западно-Панского массива среднее содержание Ni в оливине составляет 2900, в ортопироксенах – 700, в клинопироксенах – 600 г/т (Латыпов, Чистякова, 2000), эти данные можно распространить и на породы, и на руды МФТ, поскольку породные разновидности различных массивов Федорово-Панского комплекса в целом близки по составу. В ортопироксенах ЮМ среднее содержание Ni 800 г/т. Таким образом, гистограмма распределения частот содержания Ni в рудах (рис. 10в) показывает суммарные данные для силикатной и сульфидной частей породы. В пробах с содержанием Ni более 1000 г/т вклад сульфидного никеля значительно увеличивается, но таких проб всего лишь около 15 и 20% в составе выборок МФТ и ЮР соответственно, следовательно, большинство таких проб для обоих объектов составляют пробы с содержанием Ni от 1000 до 2000 г/т (см. рис. 10г). Гистограмма на рис. 10в показывает различие разновидностей пород двух объектов. Пробы с содержанием Ni менее 400 г/т в составе выборки МФТ – это лейкократовые габброиды с низким содержанием силикатного никеля, распространенные среди пород рудной зоны МФТ. Подобные лейкократовые габброиды не встречаются среди рудоносных пород ЮР, где преобладают нориты и пироксениты с суммарным содержанием Ni от 400 до 900 г/т.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ИССЛЕДОВАНИЯ

Контактные месторождения ЭПГ, связанные с расслоенными мафит-ультрамафитовыми интрузиями, объединяет их геологическое положение: оруденение размещается в зоне контакта двух или нескольких магматических фаз. Выделение контактовых месторождений ЭПГ в отдельную группу было, по-видимому, также обусловлено чисто практическими обстоятельствами, возникавшими при разведке месторождений такого типа. В результате детальных разведочных работ невозможно было протянуть отдельные слои или протяжен-

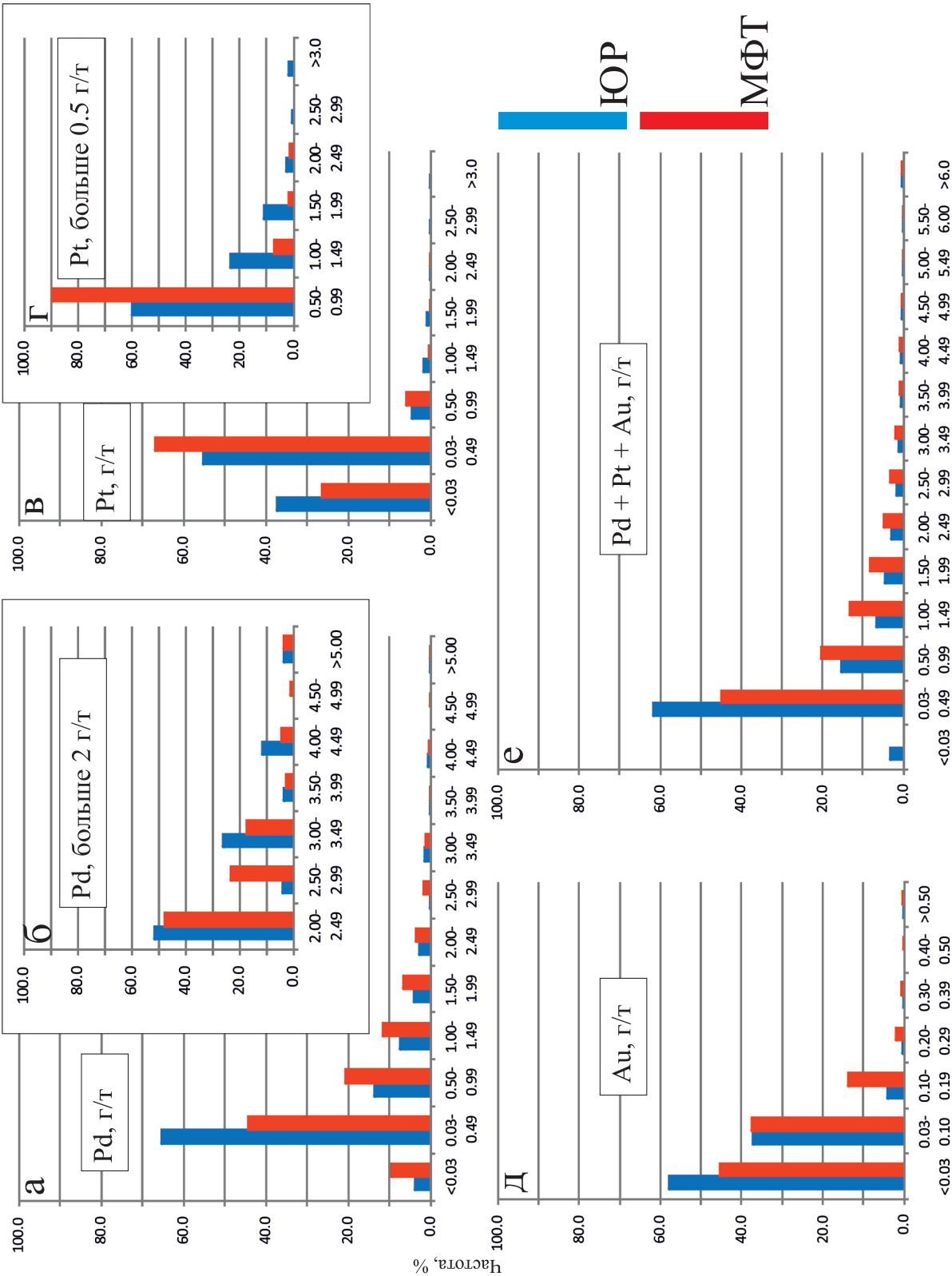
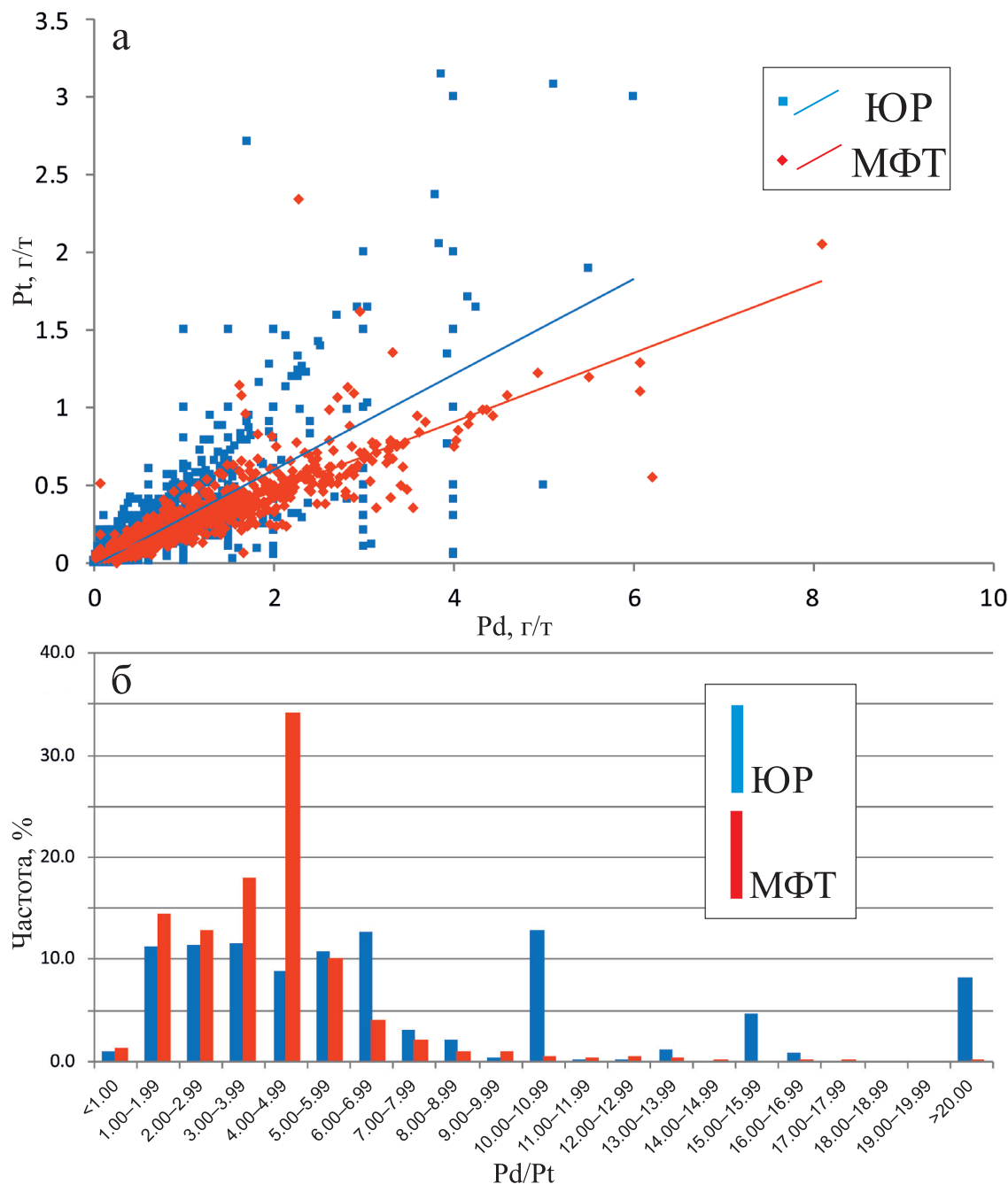


Рис. 7. Гистограммы распределения частот содержаний благородных металлов (Pd, Pt, Au) в рудах Южносопчинского рудопроявления и месторождения Федорова Тундра.

Fig. 7. Histograms of the noble metals (Pd, Pt, Au) content distribution in ores at the Yuzhnosopchinsky ore occurrence and the Fedorova Tundra deposit.



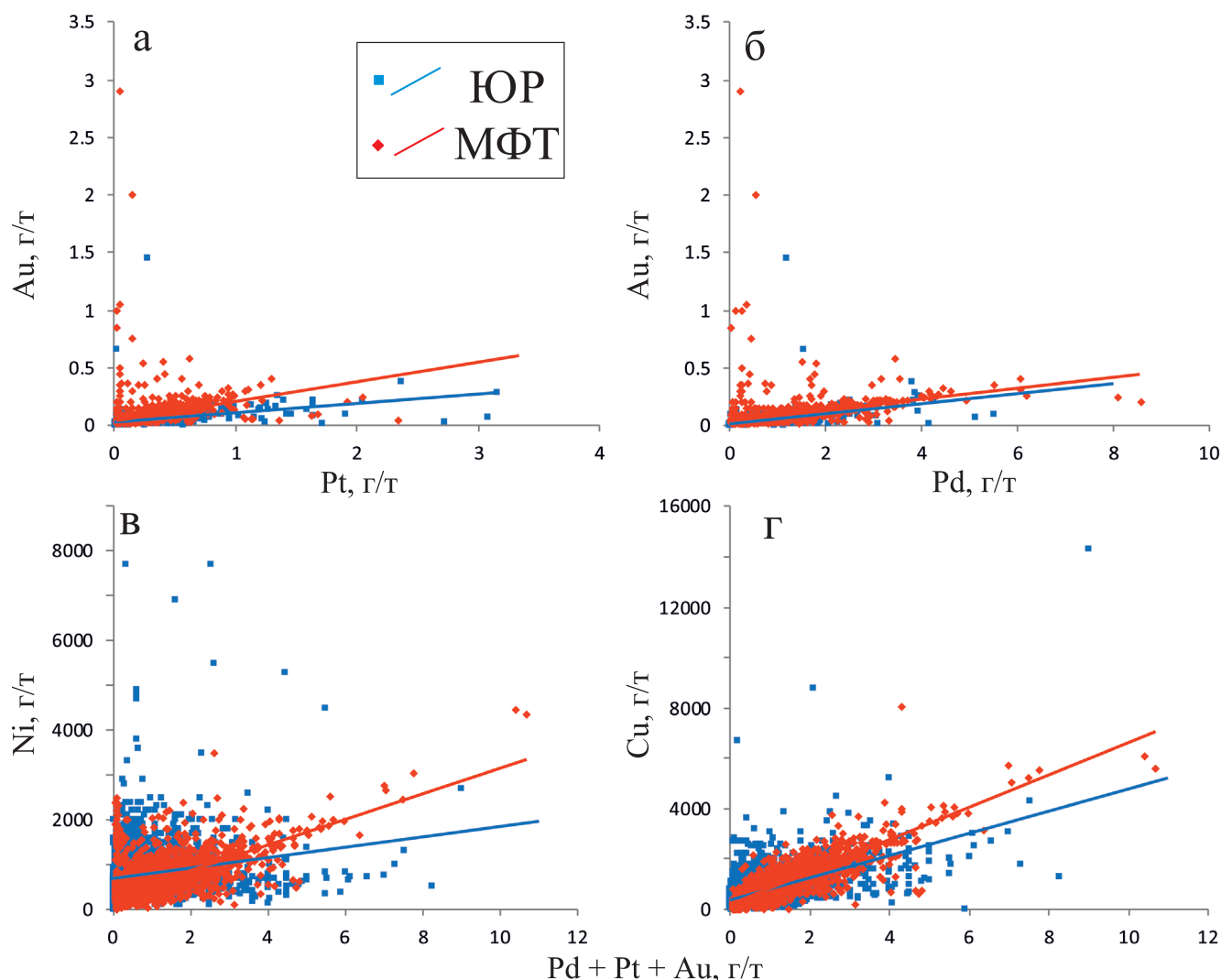
**Рис. 8.** Соотношение Pd и Pt в рудах Южносопчинского рудопоявления и месторождения Федорова Тундра.  
а – вариационная диаграмма содержаний Pd–Pt и линейные тренды, б – гистограмма распределения частот отношения Pd/Pt.

**Fig. 8.** Pd/Pt ratio in ores of the Yuzhnosopchinsky ore occurrence and the Fedorova Tundra deposit.  
a – variational diagram of the Pd vs Pt contents and linear trends, б – histogram of the Pd/Pt ratio distribution.

ные линзы рудоносных пород, как это происходило на месторождениях рифового типа. Как уже говорилось, именно с этой проблемой столкнулись геологи ОАО “Пана” на начальных стадиях разведочных работ на МФТ в 90-е гг. XX в. при попытках увязать отдельные рудные линзы и штоки в линей-

ные структуры, как это ранее удавалось при разведке Северного ЭПГ-рифа в Западно-Панском массиве. Но вскоре было установлено, что ЭПГ-оруденение связано с габбро-норитами, насыщенными ксенолитами пироксенитов более ранней интрузивной фазы массива. Помимо брекчирования





**Рис. 9.** Вариационные диаграммы содержаний и линейные тренды Au–Pt, Au–Pd, (Pd + Pt + Au)–Ni, (Pd + Pt + Au)–Cu в рудах Южносопчинского рудопоявления и месторождения Федорова Тундра.

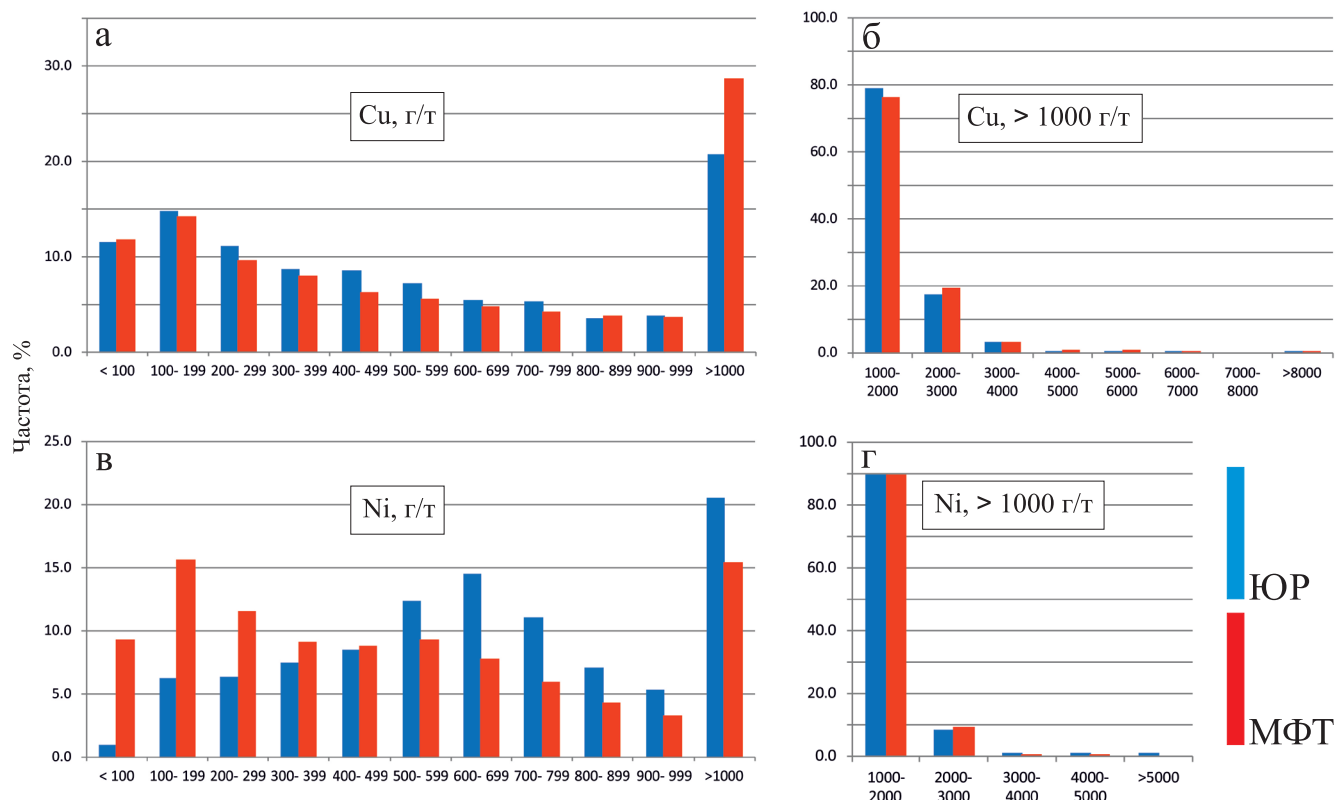
**Fig. 9.** Grade variation diagrams and linear trends for Au vs Pt, Au vs Pd, (Pd + Pt + Au) vs Ni, (Pd + Pt + Au) vs Cu in ores of the Yuzhnosopchinsky ore occurrence and the Fedorova Tundra deposit.

пород, в рудной зоне отмечено большое количество жильных и пегматоидных тел основного состава (Старицына, 1958).

Примерно по такому же сценарию развивались представления о строении и происхождении ЭПГ-рудопоявлений Южносопчинское, Лойпишнюн и Пентландитовое ущелье в Мончегорском расслоенном комплексе (Гроховская, Лапутина, 1988; Гроховская и др., 2003, 2009, 2012; Чашин и др., 2018). В настоящее время установлено, что данные рудопоявления связаны с зоной контакта между нижней норит-пироксенитовой и верхней габбро-габбро-норитовой частями Мончетундровской интрузии, которые имеют разный абсолютный возраст (Чашин и др., 2016, 2018).

Кроме того, в непосредственной близости находится контакт между Мончетундровской интрузией и Мончегорским плутоном, который проходит по так называемому Мончетундровскому разлому. Тектонические пластины в зоне разлома сложены ритмично-расслоенными породами, которые рассматривались либо как самостоятельные трещинные интрузии (Смолькин и др., 2004), либо как приразломные фрагменты Мончетундровской интрузии (Гроховская и др., 2003).

Зону контакта между Мончетундровской интрузией и Мончегорским плутоном в целом можно рассматривать как зону магматической мегабрэкции, в которой в качестве обломков находятся не только блоки нижних частей Мончетундровской



**Рис. 10.** Гистограммы распределения частот содержаний цветных металлов (Ni, Cu) в рудах Южносопчинского рудопоявления и месторождения Федорова Тундра.

**Fig. 10.** Histograms of non-ferrous metals (Ni, Cu) contents distribution in ores of the Yuzhnosopchinsky ore occurrence and the Fedorova Tundra deposit.

интрузии, но и фрагменты Мончегорского плутона, например блок Верхний Нюд (см. рис. 1). Как мелкие, так и гигантские обломки этой брекчии цементируются габброидами Мончетундровской интрузии (Рундквист и др., 2017). К этой зоне в ЮР приурочена оксидная и рудная сульфидная ЭПГ-минерализация (Prirachkin et al., 2016).

Таким образом, главные черты сходства рассматриваемых объектов – это наличие двух разновозрастных магматических фаз и, как следствие, развитие магматических брекчий и жильных тел. Следует подчеркнуть, что и в МФТ, и в ЮР к границе этих фаз приурочена сульфидная ЭПГ-минерализация. Однако одной из задач нашего исследования было выяснить, насколько близки условия формирования ЭПГ-оруденения исследуемых объектов.

#### Об условиях образования ЭПГ-минерализации МФТ и ЮР

В результате проведенных исследований установлено, что по содержанию петрогенных, редких и редкоземельных элементов породы ЮР и МФТ сходны. Но следует отметить, что при близости

состава пород ранних фаз ЮР и МФТ состав цемента в этих объектах различен: в ЮР обломки цементируются безрудными габброидами, тогда как в МФТ – такситовыми рудоносными габбро-норитами поздней магматической фазы.

Важным отличием пород ЮР от пород МФТ является более высокое содержание в первых Ti, Cr и V. Этими элементами наиболее насыщены габброиды поздней магматической фазы ЮР. В то же время они характеризуются низким содержанием Cu и Ni.

Сравнение сопоставимых по объему (более 2000 проб в каждой) выборок результатов опробования на Pt, Pd, Au, Ni и Cu также показало существенные различия в распределении рудных компонентов в исследуемых объектах. Содержание всех благородных металлов в рудах МФТ устойчиво выше, чем в рудах ЮР (см. рис. 7). Руда МФТ очень однородна, в среднем отношение Pd/Pt = 4.5. Распределение отношения Pd/Pt для выборки ЮР имеет сложный характер. Одного отчетливого максимума не наблюдается, характерны три максимума с высокими значениями Pd/Pt, а большинство значений образуют широкую область от 1 до 7 (см. рис. 8). Такие данные указывают на значительную

неоднородность руды ЮР в сравнении с аналогичной минерализацией МФТ.

Неоднородность руды ЮР по соотношению значений Pd/Pt и набору МПМ ранее отмечалась и в работе Т.Л. Гроховской с соавторами (2012). Эти авторы указывали, что в расслоенной серии преобладают сперрит, Pt-Pd-Ni-сульфиды и Pt-Pd-висмутотеллуриды, кристаллизующиеся из сульфидного расплава, а в породах краевой серии, подвергшихся воздействию гидротермальных или метаморфических флюидов, происходит замещение первичных МПМ поздними Ag-Pd-теллуридами, минеральными фазами ( $\text{Pd}_6\text{AgTe}_4$ ),  $[(\text{Pd},\text{Ag})_2\text{S}]$ , самородным серебром и др. (Гроховская и др., 2012).

В жильных плагиоклаз-пироксеновых и плагиоклаз-амфиболовых телах ЮР выявлены следующие МПМ: наиболее часто встречающиеся – котульскит, меренскиит, сперрит, винцентит ( $\text{Pd}_3\text{As}$ ); редкие – атенеит [ $\text{Pd}_2(\text{As}_{0.75}\text{Hg}_{0.25})$ ], темагамит ( $\text{Pd}_3\text{HgTe}_3$ ), паларстанид [ $\text{Pd}_5(\text{Sn},\text{As})_2$ ], соболевскит, сопчеит ( $\text{Ag}_4\text{Pd}_3\text{Te}_4$ ), холлингвортит  $[(\text{Rh},\text{Pt},\text{Pd})\text{AsS}]$ , падмаит ( $\text{PdBiSe}$ ), палладоарсенид ( $\text{Pd}_2\text{As}$ ), стиллуотерит, и сульфиды ряда брэггит-куперит-высоцкит (Мирошникова, Пахомовский, 2015; Мирошникова и др., 2019; Мирошникова, 2022). Для жильных тел ЮР в составе борнит-миллерит-халькопиритовой вкрапленности, в сростании с магнетитом и ильменитом, здесь также установлены лафламмеит ( $\text{Pd}_3\text{Pb}_2\text{S}_2$ ) и Se-содержащий лафламмеит  $[\text{Pd}_3\text{Pb}_2(\text{S},\text{Se})_2]$ , фаза ( $\text{Pd}_6\text{HgTe}_4$ ), а также торнрусит ( $\text{Pd}_{11}\text{As}_2\text{Te}_2$ ) (Гроховская и др., 2012).

Сульфидная минерализация МФТ представлена в основном халькопирит-пирротин-пентландитовой ассоциацией, а МПМ – котульскитом, группой куперита-брэггита, высокоцкитом и меренскиитом (Митрофанов и др., 2023). Низкотемпературные ассоциации сульфидов не отмечаются, а вторичные МПМ развиты в небольших объемах.

Таким образом, несмотря на ряд сходных черт, характерных для объектов с контактовым типом ЭПГ-минерализации (приуроченность оруденения к краевым сериям массивов и границам магматических фаз, близость содержаний петрогенных компонентов, РЭ и РЗЭ в основных породных разновидностях), в структурном контроле оруденения и его минералого-геохимических характеристиках для ЮР и МФТ отмечаются важные различия. Так, габбро-нориты второй фазы ЮР, цементирующие обломки пород расслоенной серии, практически не содержат значимой ЭПГ-минерализации. ЭПГ-оруденение здесь отмечается только в пределах расслоенной серии, а в пределах краевой серии связано главным образом с жильными телами основного состава. Напротив, в МФТ ЭПГ-минерализация связана с рудными габбро-норитами более поздней фазы, которые являются цементом для пироксенитов первой фазы.

В геохимическом отношении породы ЮР и МФТ различаются по содержанию рудогенных компонентов. В частности, первые обогащены титаном и ванадием при более низких содержаниях меди и никеля. Эти данные показывают, что поздняя габброидная интрузивная фаза ЮР, обогащенная Ti и V, но обедненная Cu и Ni, не могла служить источником сульфидного рудного вещества для ЮР. Руды ЮР более неоднородны по составу (широкие вариации отношений Pd/Pt), а также характеризуются более низкими средними содержаниями ЭПГ.

Широкое развитие в породах ЮР постмагматических минералов и присутствие в жильных породах своеобразной ассоциации МПМ указывают на значительную роль метаморфических преобразований с участием флюидно-гидротермальной фазы при формировании оруденения ЮР. Учитывая, что габброиды поздней магматической фазы ЮР практически безрудны, а повышенные содержания ЭПГ зафиксированы в расслоенной серии, можно сделать вывод, что рудное вещество поступило в контактовую зону при внедрении поздней габброидной интрузивной фазы из пород расслоенной серии вследствие разогрева близлежащих к контакту пород и мобилизации рудных компонентов.

В отличие от такого сценария руда МФТ поступила в зону контакта вместе с поздней рудоносной габбро-норитовой магматической фазой. Эта порция расплава более обогащена Cu, Ni и ЭПГ, а роль поздних и постмагматических процессов в формировании оруденения была существенно ниже. В этом заключается главное различие рассматриваемых объектов. Выявленные черты сходства и различия ЮР и МФТ представлены в табл. 1.

### О практической значимости исследований

Сделанный нами вывод о принципиально разных условиях формирования малосульфидной ЭПГ-минерализации в МФТ и ЮР важен не только с фундаментальной, но и прикладной точки зрения. Очевидно, что в обоих случаях, особенно при недостаточной обнаженности объектов, разведочные работы будут сталкиваться с большими трудностями, чем при изучении месторождений с рифовым типом минерализации. Тем не менее в случае с МФТ, когда мы имеем дело с отчетливо выраженной рудной фазой (с более однородной по составу и перспективной по содержаниям ЭПГ-минерализацией), задача упрощается обнаружением в разрезе рудоносных пород (в данном случае габбро-норитов второй фазы). В случае с ЮР, где вторая фаза была безрудной и лишь переотложила сульфидный (с ЭПГ) материал из расслоенной серии, ситуация более сложная. Во-первых, данные процессы существенно повлияли на качество руд (они менее однородны по составу, содержания ЭПГ

**Таблица 1.** Общая сравнительная характеристика Южносопчинского рудопоявления и месторождения Федорова Тундра**Table 1.** General comparison of the Yuzhnosopchinskoye ore occurrence and Fedorova Tundra deposit

Фазы (зоны), породы		Южносопчинское рудопоявление	Месторождение Федорова Тундра
		Магматический комплекс	
		Мончетундровская интрузия	Федорово-Панский комплекс
		Интрузивное тело	
		Южносопчинский массив	Массив Федорова Тундра
Ранняя магматическая фаза	Породы расслоенной серии	Ортопироксениты, оливиновые ортопироксениты, меланократовые нориты	Отопироксениты, меланократовые нориты габбро-нориты, мезократовые габбро, лейкократовые габбро, троктолиты
	Возраст (U-Pb)	2504 ± 1 млн лет (Чашин и др., 2016)	(2526 ± 6)–(2507 ± 11) млн лет (Грошев и др., 2009)
Поздняя магматическая фаза	Породы	Габбро-нориты, габбро	Такситовые габбро-нориты
	Возраст (U-Pb)	2478 ± 20 млн лет (Чашин и др., 2016)	(2491 ± 8)–(2485 ± 9) млн лет (Грошев и др., 2009)
Контактная зона и зона брекчирования	Породы ксенолитов	Ортопироксениты, меланократовые нориты, метапироксениты, метанориты	Ортопироксениты, меланократовые нориты
	Породы цемента	Габбро-нориты, габбро, метагаббро	Такситовые габбро-нориты и метагаббро-нориты
	Жильные породы	Жилы плагиоклаз-пироксенового и плагиоклаз-амфиболового состава; жилы кварц-полевошпатового состава	Габбро-пегматиты, диориты
Главные сульфидные минералы		В породах расслоенной серии – пирротин, пентландит, халькопирит; в жильных породах – халькопирит, борнит, миллерит	Пирротин, халькопирит, пентландит
Главные минералы платиновых металлов		В породах расслоенной серии – меренскиит, сперрилит, сульфиды ряда брэггит-куперит-высоцкит. В жильных породах – котульскит, меренскиит, сперрилит, винцентит	Котульскит, сульфиды ряда брэггит-куперит-высоцкит, меренскиит, мончеит, соболевскит, стиллуотерит, сперрилит (Митрофанов и др., 2023)
Источник сульфидной и ЭПГ-минерализации		Породы расслоенной серии (ранней магматической фазы)	Такситовые габбро-нориты поздней магматической фазы

в среднем невысокие), во-вторых, необходим поиск в разрезе отчетливых маркеров рудных зон (например, рудноносных жил).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные платинометалльные объекты – Южносопчинское рудопоявление и месторождение Федорова Тундра – по своему геологическому положению связаны с зоной интрузивного контакта двух магматических фаз. В обоих случаях в рудных зонах развиты магматическая брекчия, пегматоидные и жильные тела. Однако если состав обломков в обоих случаях довольно близок (ортопи-

роксениты и меланократовые нориты ранних магматических фаз (расслоенной серии пород) массивов), то состав пород цемента принципиально различен. В составе брекчии ЮР обломки цементируются безрудными габброидами, а в зоне брекчии МФТ – такситовыми рудноносными габбро-норитами поздних магматических фаз массивов. В пределах ЮР ЭПГ-оруденение сосредоточено в приближенной к интрузивному контакту расслоенной серии пород и в многочисленных пегматоидных и жильных телах. Рудные тела МФТ находятся на границах более поздней магматической фазы, сложенной такситовыми габбро-норитами, которая брекчировала и сцементировала породы ниж-



ней части расслоенной серии. Несмотря на эти существенные различия, оба объекта могут быть отнесены к контактовому типу месторождений ЭПГ.

По совокупности геологических и минералогическо-геохимических данных, приведенных в настоящей статье, можно сделать вывод о том, что Южносопчинское рудопроявление и месторождение Федорова Тундра во многом сходны, но различаются условиями образования минерализации. Руда ЮР поступила в контактовую зону из пород расслоенной серии вследствие мобилизации вещества при внедрении поздней габброидной интрузивной фазы. Руда МФТ поступила в зону контакта вместе с поздней рудоносной габбро-норитовой магматической фазой.

Выявленные нами различия в условиях образования ЭПГ-минерализации ЮР и МФТ имеют и достаточно важные прикладные следствия. В случае с МФТ, где более поздняя интрузивная фаза четко определена как рудоносная, такой механизм может продуцировать месторождения с высокими содержаниями и (при достаточном объеме материала) запасами ЭПГ. В сравнении с ЮР минерализация с ЭПГ здесь более однородна по составу (меньший разброс содержаний ЭПГ, более стабильные отношения Pd/Pt), что является весьма положительным фактором для перспектив добычи этих металлов.

Напротив, что касается ЮР, где рудоносной была более ранняя фаза, внедрение второй фазы, кроме переотложения и концентрации ЭПГ, в ряде случаев может вызывать и разубоживание руд. В целом из нашего исследования видно, что средние содержания ЭПГ в ЮР ниже, чем в МФТ, а ЭПГ-минерализация – менее однородна по составу.

Таким образом, наиболее промышленно значимым нужно считать контактовое ЭПГ-оруденение, развитое в пределах МФТ, поскольку оно непосредственно связано с поступлением в камеру рудоносного расплава. Перспективы же объектов с контактовой ЭПГ-минерализацией по типу развитой в краевой зоне ЮР зависят от множества факторов (прежде всего, от объемов и качества рудной минерализации более ранних фаз) и требуют более критической оценки при постановке поисково-разведочных работ.

#### Благодарности

Авторы благодарят Н.Ю. Грошева и П.В. Припачкина за ценные советы и пояснения. Авторы также выражают глубокую признательность рецензентам, существенные замечания которых способствовали улучшению текста по содержанию и форме.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Войтехович В.С. и др. (2002) Информационный отчет о результатах поисковых работ на металлы платиновой группы в Мончегорском районе (Мончегорский

и Мончетундровский массивы) в 1999–2002 гг. Мончегорск, ОАО “ЦКЭ”. Кн. 1. 236 с.

Гроховская Т.Л., Бакаев Г.Ф., Шолохнев В.В., Лапина М.И., Муравицкая Г.Н., Войтехович В.С. (2003) Рудная платинометалльная минерализация в расслоенном Мончегорском магматическом комплексе (Кольский полуостров, Россия). *Геол. рудн. месторождений*, **45**(4), 329–352.

Гроховская Т.Л., Иванченко В.Н., Каримова О.В., Грибоедова И.Г., Самошникова Л.А. (2012) Геологическое строение, минералогия и генезис ЭПГ-минерализации массива Южная Сопча, Мончегорский комплекс, Россия. *Геол. рудн. месторождений*, **54**(5), 416–440.

Гроховская Т.Л., Лапина М.И., Мохов А.В. (2009) Ассоциации и генезис минералов платиновой группы в малосульфидных рудах месторождения Мончетундра (Кольский полуостров). *Геол. рудн. месторождений*, **51**(6), 520–539.

Гроховская Т.Л., Лапутина И.П. (1988) Платиновая минерализация некоторых расслоенных интрузивов Кольского полуострова. *Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Карело-Кольского региона*. Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 69–73.

Грошев Н.Ю. (2010) Двухфазный платиноносный массив Федоровой тундры (Кольский полуостров): геология и типы малосульфидного ЭПГ-оруденения. Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 160 с.

Грошев Н.Ю. (2011) Федоровотундровский массив Федорово-Панского платиноносного расслоенного комплекса (Кольский полуостров) – новые петрохимические и геохимические данные. *Вестн. Кольского НЦ РАН*, **1/2011**(5), 17–29.

Грошев Н.Ю., Ниткина Е.А., Митрофанов Ф.П. (2009) Двухфазный механизм образования платинометалльных базитов Федоровотундровского массива на Кольском полуострове: новые геологические и изотопно-геохронологические данные. *Докл. АН*, **427**(5), 669–673.

Грошев Н.Ю., Степенщиков Д.Г. (2019) Термальная история базального контакта в расслоенном интрузиве Федоровой тундры, Кольский регион, Россия. *Тр. Ферсмановской науч. сессии ГИ КНЦ РАН*, вып. 16, 107–111. <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.022>

Дубровский М.И., Рундквист Т.В. (2008) Раннепротерозойский платиноносный массив Федоровых тундр (Кольский полуостров): геология и петрология. *Зап. Рос. минералог. об-ва*, **137**(4), 20–33.

Иванченко В.Н., Давыдов П.С. (2009) Основные черты геологического строения месторождений и проявлений МПГ южной части Мончегорского рудного района. Проект Интеррег-Тасис. *Стратегические минеральные ресурсы Лапландии – основа устойчивого развития Севера*. Сб. мат-лов проекта, вып. II. Апатиты: КНЦ РАН, 70–78.

Иванченко В.Н., Давыдов П.С., Дедеев В.А., Кнауф В.В. (2008) Основные черты геологического строения месторождения Вурэчуайвенч. *Международное сотрудничество и обмен опытом в геологическом изучении и разведке платинометалльных месторождений северной части Фенноскандинавии. Промежуточные результаты международного проекта KOLARCTIC INTERREG III A North-TACIS N KA-0197*.

- Апатиты: КНЦ РАН, 82-87.
- Иванченко В.Н., Фролова А.А., Чашин В.В., Поляков А.Б., Печенкин М.М., Белевская Е.С., Погодин Д.А., Антонова Е.К. (2009) Информационный отчет о результатах оценочных работ на МПГ на южном фланге месторождения Вуручайвенч, оценочных работ на МПГ на рудопроявлении Южно-сопчинское и доразведка месторождения медно-никелевых руд Пласт "330" в Мончегорском рудном районе в 2007–2009 гг. (в 3 кн., 2 папках). Фондовый отчет ТФГИ, Апатиты, Россия.
- Казанов О.В., Калинин А.А. (2008) Строение и МПГ минерализация Восточно-Панского расслоенного массива. *Международное сотрудничество и обмен опытом в геологическом изучении и разведке платинометаллических месторождений северной части Фенноскандинавии. Промежуточные результаты международного проекта KOLARCTIC INTERREG III A North-TACIS N KA-0197*. Апатиты: КНЦ РАН, 56-67.
- Карпов С.М. (2004) Геологическое строение Панского интрузива и особенности локализации в нем комплексного платинометаллического оруденения. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. СПб., 21 с.
- Корчагин А.У., Субботин В.В., Митрофанов Ф.П., Минеев С.Д. (2009) Платинометаллическое месторождение Киевей в Западно-Панском расслоенном массиве: геологическое строение и состав оруденения. *Проект Интеррег-Тасис: Стратегические минеральные ресурсы Лапландии – основа устойчивого развития Севера*. Сб. мат.-лов проекта, вып. II. Апатиты: КНЦ РАН, 12-32.
- Латыпов Р.М., Чистякова С.Ю. (2000) Механизм дифференциации расслоенного интрузива Западно-Панских тундр. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 315 с.
- Мирошникова Я.А., Пахомовский Я.А. (2015) Жильные тела участка Морошковое озеро (Мончегорский район) и связанное с ними оруденение. *Вестн. Мурманск. гос. техн. ун-та*, **18**(2), 280-286.
- Мирошникова Я.А., Чернявский А.В., Базай А.В. (2019) Рудная минерализация участка Южносопчинский-1 (Мончегорский рудный район, Кольский полуостров). *Зап. Рос. минералог. об-ва*, **148**(1), 38-48. <https://doi.org/10.30695/zrmo/2019.1481.03>
- Мирошникова Я.А. (2022) Жильные образования в зоне сочленения Мончегорского плутона и Мончегорской интрузии (Кольский полуостров, Россия). *Вестн. Мурманск. гос. техн. ун-та*, **25**(1), 27-37. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-1-27-37>
- Митрофанов Ф.П., Баянова Т.Б., Вымазалова А., Габов Д.А., Грошев Н.Ю., Жиров Д.В., Казанов О.В., Калинин А.А., Карпов С.М., Корчагин А.У., Лауфек Ф., Плашил Я., Припачкин П.В., Рундквист Т.В., Савченко Е.Э., Серов П.А., Стэнли К.Дж., Субботин В.В., Чашин В.В. (2023) Кольская платинометаллическая провинция. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 193 с.
- Митрофанов Ф.П., Яковлев Ю.Н., Дистлер В.В., Балабонин Н.Л., Веселовский Н.Н., Докучаева В.С., Гроховская Т.Л., Ключин С.Ф., Захаров А.А., Корчагин А.У. (1994) Кольский регион – новая платинометаллическая провинция. *Геология и генезис месторождений платиновых металлов*. М.: Наука, 65-79.
- Налдретт А.Дж. (2003) Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. СПб.: Изд-во СПбГУ, 487 с.
- Ноздря Е.В., Корчагин А.У., Решетник М.Г. и др. (2006) Отчет о результатах геологоразведочных работ, технико-экономическое обоснование параметров временных кондиций для подсчета запасов и подсчет запасов медно-никелевых руд с платиноидами месторождения Федорова Тундра (участок Большой Ихтегипахк) в Мурманской области (в 6 кн., 11 т., 3 папки графических приложений). Фондовый отчет ТФГИ, Апатиты, Россия.
- Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В. (2002) Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 359 с.
- Припачкин П.В. (2019) Главные месторождения и проявления платинометаллических руд Кольского пояса расслоенных интрузий (Кольский полуостров, Россия). *Литосфера*, **19**(5), 731-751. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2019-19-5-731-751>
- Припачкин П.В. (2018) О роли дайковых и жильных тел в распределении Cu-Ni-PGE минерализации в Мончегорском расслоенном комплексе (Кольский полуостров, Россия). *Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология*, (2), 84-92. <https://doi.org/10.17308/geology.2018.2/1526>
- Рундквист Т.В., Припачкин П.В., Гребнев Р.А. (2012) Особенности взаимоотношений интрузивных тел в зоне контакта ультрамафит-мафитовых комплексов Мончегорский и Главного хребта (участок "Южно-сопчинский", Кольский полуостров). *Литосфера*, (3), 65-79.
- Рундквист Т.В., Припачкин П.В., Гребнев Р.А., Севостьянов А.Ю., Мирошникова Я.А. (2011) Геологическое строение и особенности локализации платинометаллического оруденения в восточной части Южносопчинского мафит-ультрамафитового массива (Кольский полуостров). *Руды и металлы*, **5**, 58-68.
- Рундквист Т.В., Припачкин П.В., Грошев Н.Ю., Мирошникова Я.А. (2017) Магматическая мегабрекчия в раннепротерозойском мафит-ультрамафитовом Мончегорском комплексе (Кольский регион). *Геодинамика раннего докембрия: сходство и различия с фанерозоем*. Мат.-лы науч. конф. и путеводитель научных экскурсий. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 200-203.
- Рундквист Т.В., Припачкин П.В., Мирошникова Я.А., Базай А.В. (2016) Новые данные о геологическом строении и благороднометаллической минерализации Южносопчинского массива (Раннепротерозойский Мончегорский комплекс, Кольский регион). *Вестн. Кольск. НЦ РАН*, **3**(26), 44-52.
- Смолькин В.Ф., Федотов Ж.А., Нерадовский Ю.Н., Баянова Т.Б., Борисова В.В., Глазнев В.Н., Дедюхин А.Н., Орсов Д.А., Оненстеттер М., Оненстеттер Д., Раевский А.Б., Толстихин И.Н., Чашин В.В., Мокрушин А.В., Новиков Д.Д., Икорский С.В., Каменский И.Л., Деленицын А.А. (2004) Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района: петрология, оруденение, изотопия, глубинное строение. Ч. 1. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 177 с.
- Старицына Г.Н. (1958) К вопросу о генезисе габбро-пегматитов Федоровой тундры *Изв. Карельск. и Кольск. фил. АН СССР*, **2**, 23-39.
- Субботин В.В., Корчагин А.У., Савченко Е.Э. (2012) Платинометаллическая минерализация Федорова-Пан-

- ского рудного узла: типы оруденения, минеральный состав, особенности генезиса. *Вестн. Кольск. НЦ РАН*, **1**, 55-66.
- Уорд М., Калинин А., Маклухлин Д., Войтехович В. (2008) ООО “Кольская Горно-Геологическая Компания” – поиски МПП в восточной части Панских тундр. *Международное сотрудничество и обмен опытом в геологическом изучении и разведке платинометалльных месторождений северной части Фенноскандинавии. Промежуточные результаты международного проекта KOLARCTIC INTERREG III A North-TACIS N KA-0197*. Апатиты: КНЦ РАН, 52-55.
- Чашин В.В., Баянова Т.Б., Митрофанов Ф.П., Серов П.А. (2016) Малосульфидные платинометалльные руды палеопротерозойского Мончегорского плутона и массивов его южного обрамления (Кольский полуостров, Россия): геологическая характеристика и изотопно-геохронологические свидетельства полихронности рудно-магматических систем. *Геол. рудн. месторождений*, **58**(1), 41-63. <https://doi.org/10.7868/S0016777016010020>
- Чашин В.В., Баянова Т.Б., Савченко Е.Э., Киселева Д.В., Серов П.А. (2020) Петрогенезис и возраст пород нижней платиноносной зоны Мончетундровского базитового массива, Кольский полуостров. *Петрология*, **28**(2), 150-183. <https://doi.org/10.31857/S0869590320020028>
- Чашин В.В., Митрофанов Ф.П. (2014) Палеопротерозойская Имандра-Варзугская рифтогенная структура (Кольский полуостров): интрузивный магматизм и минерализация. *Геодинамика и тектонофизика*, **5**(1), 231-256. <https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-1-0126>
- Чашин В.В., Петров С.В., Дрогобужская С.В. (2018) Малосульфидное платино-палладиевое месторождение Лойпишнюн Мончетундровского базитового массива (Кольский полуостров, Россия). *Геол. рудн. месторождений*, **60**(5), 472-503. <https://doi.org/10.1134/S0016777018050027>
- Шарков Е.Н., Чистяков А.В. (2014) Геолого-петрологические аспекты ЭПГ-Cu-Ni оруденения в палеопротерозойском Мончегорском расслоенном мафит-ультрамафитовом комплексе (Кольский полуостров). *Геол. рудн. месторождений*, **56**(3), 171-194. <https://doi.org/10.7868/S0016777014030046>
- Alapieti T.T., Filén B.A., Lahtinen J.J., Lavrov M.M., Smolkin V.F., Voitsekhovsky S.N. (1990) Early Proterozoic layered intrusions in the northeastern part of the Fennoscandian Shield. *Mineral. Petrol.*, **42**, 1-22.
- Alapieti T.T., Lahtinen J.J. (2002) Platinum-group element mineralization in layered intrusions of northern Finland and the Kola Peninsula, Russia. *The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements*. (Ed. L.J. Cabri). Canad. Inst. Min., Metall. Petrol. Special V. **54**, 507-546.
- Barnes S.-J., Gornwe T.S. (2011) The Pd-deposits of the Lac-des-Iles Complex, north-western Ontario. *Rev. Econ. Geol.*, **17**, 351-370.
- Barrie C.T., MacTavish A.D., Walford P.C., Chataway R., Middaugh R. (2002) Contact-type and Magnetite Reef-type Pd-Cu Mineralization in Ferroan Olivine Gabbros of the Coldwell Complex, Ontario. *Canad. Inst. Min. Metall.*, **54**, 321-337.
- Boudreau A., Djon L., Tchalikian A., Corkery J.T. (2014) The Lac Des Iles Palladium Deposit, Ontario, Canada part I. The effect of variable alteration on the Offset Zone. *Mineral. Depos.*, **49**(5), 1-29.
- Cawthorn R.G. (2010) The platinum-group element deposits of the Bushveld Complex in South Africa. *Platin. Metals Rev.*, **54**, 205-215.
- Duran C.J., Barnes S.-J., John T., Corkery J.T. (2013) Petrogenesis of massive sulphides from the Lac-des-Iles palladium ore deposits, Western Ontario. *Mineral deposit research for a high-tech world*. 12th SGA Biennial Meeting, Proceedings, Ore deposits associated with mafic and ultramafic rocks, **3**, 978-981.
- Easton R.M., James R.S., Jobin-Bevans L.S. (2010) Geological guidebook to the Paleoproterozoic East Bull Lake intrusive suite plutons at East Bull Lake, Agnew Lake and River Valley: a field trip for the 11th International Platinum Symposium; Ontario Geological Survey, Open File Report 6253, 108 p.
- Groshev N.Yu., Rundkvist T.V., Karykowski B.T., Maier W.D., Korchagin A.U., Ivanov A.N., Junge M. (2019) Low-Sulfide Platinum-Palladium Deposits of the Paleoproterozoic Fedorova-Pana Layered Complex, Kola Region, Russia. *Minerals*, **9**(12):764, 1-23. <https://doi.org/10.3390/min9120764>
- Ilijina M.J. (2008) The Suhanko-PGE prospect and the Portimo layered intrusion. *Metallogeny and tectonic evolution of the Northern Fennoscandian Shield: Guidebook*. (Eds O.V. Juhani, M. Ilijina), 33-53.
- Ilijina M.J., Maier W.D., Karinen T. (2015) PGE-(Cu-Ni) Deposits of the Tornio-Narankavaara Belt of Intrusions (Portimo, Penikat, and Koillismaa). *Mineral deposits of Finland*. (Eds W. Maier, H. O'Brien, R. Lahtinen). Elsevier, Amsterdam, 133-164. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-410438-9.00005-4>
- Karykowski B.T., Maier W.D., Groshev N.Y., Barnes S.-J., Pri-pachkin P.V., McDonald I., Savard D. (2018) Critical Controls on the Formation of Contact-Style PGE-Ni-Cu Mineralization: Evidence from the Paleoproterozoic Monchegorsk Complex, Kola Region, Russia. *Econ. Geol.*, **113**(4), 911-935. <https://doi.org/10.5382/econgeo.2018.4576>
- Maier W.D., Barnes S.-J., Groves D.I. (2013) The Bushveld Complex, South Africa: formation of platinum-palladium, chrome- and vanadium-rich layers via hydrodynamic sorting of a mobilized cumulate slurry in a large, relatively slowly cooling, subsiding magma chamber. *Mineral. Depos.*, **48**, 1-56.
- Makkonen H.V., Halkoaho T., Konnunaho J., Rasilainen K., Kontinen A., Eilu P. (2017) Ni-(Cu-PGE) deposits in Finland – Geology and exploration potential. *Ore Geol. Rev.*, **90**, 667-696. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.06.008>
- McDonough W.F., Sun S.-S. (1995) The composition of the Earth. *Chem. Geol.*, **120**, 223-253.
- Middlemost E.A.K. (1994) Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Sci. Rev.*, **37**, 215-224.
- Mitrofanov F.P., Pozhilenko V.I., Smolkin V.F., Arzamastsev A.A., Yevzerov V.Ya., Lyubtsov V.V., Shipilov E.V., Nikolaeva S.B., Fedotov Zh.A. (1995) Geology of Kola Peninsula (Baltic Shield). Апатиты: KSC RAS Publ., 145 p.
- Naldrett A.J., Brüggemann G.E., Wilson A.H. (1990) Models for the concentration for PGE in layered intrusions. *Canad. Miner.*, **28**, 398-408.
- Peck D.C., Keays R.R., James R.S., Chubb P.T., Reeves S.J. (2001) Controls on the formation of contact-type platinum-group element mineralization in the East Bull Lake



- intrusion. *Econ. Geol.*, **96**, 559-581.
- Pripachkin P., Rundkvist T., Groshev N. (2023) Paleoproterozoic East Pana Layered Intrusion (Kola Peninsula, Russia): Geological Structure, Petrography, Geochemistry and Cu-Ni-PGE Mineralization. *Minerals*, **13**, 681. <https://doi.org/10.3390/min13050681>
- Pripachkin P.V., Rundkvist T.V., Miroschnikova Ya.A., Chernyavsky A.V., Borisenko E.S. (2016) Geological structure and ore mineralization of the South Sopchinsky and Gabbro-10 massifs and the Moroshkovoe Lake target, Monchegorsk area, Kola Peninsula, Russia. *Mineral. Depos.*, **51**(8), 973-992. <https://doi.org/10.1007/s00126-015-0605-0>
- Schissel D., Tsvetkov A.A., Mitrofanov F.P., Korchagin A.U. (2002) Basal Platinum-Group Element Mineralization in the Fedorov Pansky Layered Mafic Intrusion, Kola Peninsula, Russia. *Econ. Geol.*, **97**, 1657-1677.
- Sun S.-S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmaism in the Ocean Basins*. (Eds A.D. Saunders, M.J. Narry). Geol. Soc. Spec. Publ., **42**, 313-345.
- Zientek M.L. (2012) Magmatic ore deposits in layered intrusions – Descriptive model for reef-type PGE and contact-type Cu-Ni-PGE deposits. U.S. Geological Survey Open-File Report 2012.1010. 48 p.
- Alapieti T.T., Filén B.A., Lahtinen J.J., Lavrov M.M., Smolkin V.F., Voitsekhovskiy S.N. (1990) Early Proterozoic layered intrusions in the northeastern part of the Fennoscandian Shield. *Mineral. Petrol.*, **42**, 1-22.
- Alapieti T.T., Lahtinen J.J. (2002) Platinum-group element mineralization in layered intrusions of northern Finland and the Kola Peninsula, Russia. *The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements*. (Ed. L.J. Cabri). Canad. Inst. Min., Metall. Petrol. Special V. **54**, 507-546.
- Barnes S.-J., Gornow T.S. (2011) The Pd-deposits of the Lac-des-Iles Complex, north-western Ontario. *Rev. Econ. Geol.*, **17**, 351-370.
- Barrie C.T., MacTavish A.D., Walford P.C., Chataway R., Middaugh R. (2002) Contact-type and Magnetite Reef-type Pd-Cu Mineralization in Ferroan Olivine Gabbros of the Coldwell Complex, Ontario. *Canad. Inst. Min. Metall.*, **54**, 321-337.
- Boudreau A., Djon L., Tchalikian A., Corkery J.T. (2014) The Lac Des Iles Palladium Deposit, Ontario, Canada part I. The effect of variable alteration on the Offset Zone. *Mineral. Depos.*, **49**(5), 1-29.
- Cawthorn R.G. (2010) The platinum-group element deposits of the Bushveld Complex in South Africa. *Platin. Metals Rev.*, **54**, 205-215.
- Chashchin V.V., Bayanova T.B., Mitrofanov F.P., Serov P.A. (2016) Low-sulfide PGE ores in Paleoproterozoic Monchegorsk Pluton and massifs of its southern framing, Kola peninsula, Russia: geological characteristic and isotopic geochronological evidence of polychronous ore-magmatic systems. *Geol. Ore Depos.*, **58**(1), 37-57 (translated from *Geol. Rudn. Mestorozh.*, **58**(1), 41-63). <https://doi.org/10.1134/S1075701516010025>
- Chashchin V.V., Bayanova T.B., Savchenko Y.E., Kiseleva D.V., Serov P.A. (2020) Petrogenesis and age of rocks from the lower zone of the Monchetundra mafic platinum-bearing massif, Kola peninsula. *Petrology*, **28**(2), 151-182 (translated from *Petrologiya*, **28**(2), 150-183). <https://doi.org/10.1134/S0869591120020022>
- Chashchin V.V., Mitrofanov F.P. (2014) Paleoproterozoic Imandra-Varzuga rift structure (Kola Peninsula): intrusive magmatism and minerageny. *Geodynamics & Tectonophysics*, **5**(1), 231-256. <https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-1-0126>
- Chashchin V.V., Petrov S.V., Drogobuzhskaya S.V. (2018) Loypishnyun low-sulfide Pt-Pd deposit of the Monchetundra basic massif, Kola peninsula, Russia. *Geol. Ore Depos.*, **60**(5), 418-448 (translated from *Geol. Rudn. Mestorozh.*, **60**(5), 472-503). <https://doi.org/10.1134/S1075701518050021>
- Dubrovsky M.I., Rundqvist T.V. (2009) Petrology of the Early Proterozoic platinum-bearing massif of Fedorov Tundra, Kola peninsula. *Geol. Ore Depos.*, **51**(7), 577-587 (translated from *Zap. Ros. mineralog. obshchestva*, **137**(4), 20-33).
- Duran C.J., Barnes S.-J., John T., Corkery J.T. (2013) Petrogenesis of massive sulphides from the Lac-des-Iles palladium ore deposits, Western Ontario. *Mineral deposit research for a high-tech world*. 12th SGA Biennial Meeting, Proceedings, Ore deposits associated with mafic and ultramafic rocks, **3**, 978-981.
- Easton R.M., James R.S., Jobin-Bevans L.S. (2010) Geological guidebook to the Paleoproterozoic East Bull Lake intrusive suite plutons at East Bull Lake, Agnew Lake and River Valley: a field trip for the 11th International Platinum Symposium; Ontario Geological Survey, Open File Report 6253, 108 p.
- Grokhovskaya T.L., Bakaev G.F., Sholokhnev V.V., Lapina M.I., Muravitskaya G.N., Voitekhovich V.S. (2003) The PGE ore mineralization in the Monchegorsk magmatic layered complex (Kola peninsula, Russia). *Geol. Ore Depos.*, **45**(4), 287-308 (translated from *Geol. Rudn. Mestorozh.*, **45**(4), 329-352).
- Grokhovskaya T.L., Karimova O.V., Griboedova I.G., Samoshnikova L.A., Ivanchenko V.N. (2012) Geology, mineralogy, and genesis of PGE mineralization in the South Sopcha massif, Monchegorsk complex, Russia. *Geol. Ore Depos.*, **54**(5), 347-369 (translated from *Geol. Rudn. Mestorozh.*, **54**(5), 416-440).
- Grokhovskaya T.L., Lapina M.I., Mokhov A.V. (2009) Assemblages and genesis of platinum-group minerals in low-sulfide ores of the Monchetundra deposit, Kola peninsula, Russia. *Geol. Ore Depos.*, **51**(6), 467-485 (translated from *Geol. Rudn. Mestorozh.*, **51**(6), 520-539).
- Grokhovskaya T.L., Laputina I.P. (1988) Platinum mineralization of some layered intrusions of the Kola Peninsula. *Nickel content of basic-ultrabasic complexes of the Karelian-Kola region*. Apatity, Komi SC RAS Publ., 69-73. (In Russ.)
- Groshev N.Yu. (2011) The Fedorovo-Tundrovsky massif of the Fedorovo-Pansky platinum-bearing layered complex (Kola Peninsula) – new petrochemical and geochemical data. *Vestnik Kol'skogo NTs RAN*, **1/2011**(5), 17-29. (In Russ.)
- Groshev N.Yu. (2010) Two-phase platinum-bearing massif of the Fedorova tundra (Kola Peninsula): geology and types of low-sulfide PGE mineralization. Cand. geol. and min. sci. diss. Apatity, GI KSC RAS, 160 p. (In Russ.)
- Groshev N.Yu., Nitkina E.A., Mitrofanov F.P. (2009) Two-phase mechanism of the formation of platinum-metal basites of the Fedorova Tundra intrusion on the Kola Pen-



- insula: new data on geology and isotope geochronology. *Dokl. Earth Sci.*, **427**(2), 1012-1016 (translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **427**(5), 669-673).
- Groshev N.Yu., Rundkvist T.V., Karykowski B.T., Maier W.D., Korchagin A.U., Ivanov A.N., Junge M. (2019) Low-Sulfide Platinum-Palladium Deposits of the Paleoproterozoic Fedorova-Pana Layered Complex, Kola Region, Russia. *Minerals*, **9**(12):764, 1-23. <https://doi.org/10.3390/min9120764>
- Groshev N.Yu., Stepenshchikov D.G. (2019) Thermal history of basal contact in the layered intrusion of the Fedorova Tundra, Kola region, Russia. *Trudy Fersmanovskoi Nauchnoi Sessii GI KNTs RAN*, vyp. 16, 107-111. (In Russ.) <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.022>
- Iljina M.J. (2008) The Suhanko-PGE prospect and the Portimo layered intrusion. *Metallogeny and tectonic evolution of the Northern Fennoscandian Shield: Guidebook*. (Eds O.V. Juhani, M. Iljina), 33-53.
- Iljina M.J., Maier W.D., Karinen T. (2015) PGE-(Cu-Ni) Deposits of the Tornio-Narankavaara Belt of Intrusions (Portimo, Penikat, and Koillismaa). *Mineral deposits of Finland*. (Eds W. Maier, H. O'Brien, R. Lahtinen). Elsevier, Amsterdam, 133-164. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-410438-9.00005-4>
- Ivanchenko V.N., Davydov P.S. (2009) Main features of the geological structure of the PGM deposits and prospects in the southern part of the Monchegorsk ore region. *Interreg-Tacis project: The strategic mineral resources of Lapland – base for the sustainable development of the North. Project materials*. V. II. Apatity, KarSC RAS, 70-78. (In Russ.)
- Ivanchenko V.N., Davydov P.S., Dedeev V.A., Knauf V.V. (2008) Main features of geological structure of the Vurechuaivench deposit. *The neighborhood cooperation and experience exchange in geological prospecting and exploration of PGE deposits in the Northern Fennoscandia. Interim results of the international project KOLARCTIC INTERREG III A North-TACIS N KA-0197*. Apatity, KarSC RAS, 82-87. (In Russ.)
- Ivanchenko V.N., Frolova A.A., Chashchin V.V., Polyakov A.B., Pechenkin M.M., Belevskaya E.S., Pogodin D.A., Antonova E.K. (2009) Information report on the results of appraisal work at the PGM on the southern flank of the Vuruchuaivench deposit, appraisal work at the PGM at the Yuzhnosopchinskoye ore occurrence and additional exploration of the copper-nickel ore deposit Plast "330" in the Monchegorsk ore district in 2007–2009 (in 3 books, 2 folders). Unpublished Report in TF-GI: Apatity, Russia. (In Russ.)
- Karpov S.M. (2004) Geological structure of the Pana intrusion and features of localization of PGE mineralization. Cand. geol. and min. sci. diss. St.Petersburg, 21 p. (In Russ.)
- Karykowski B.T., Maier W.D., Groshev N.Y., Barnes S.J., Pripachkin P.V., McDonald I., Savard D. (2018) Critical Controls on the Formation of Contact-Style PGE-Ni-Cu Mineralization: Evidence from the Paleoproterozoic Monchegorsk Complex, Kola Region, Russia. *Econ. Geol.*, **113**(4), 911-935. <https://doi.org/10.5382/econgeo.2018.4576>
- Kazanov O.V., Kalinin A.A. (2008) Structure and PGM mineralization of the East-Pan layered massif. *The neighborhood cooperation and experience exchange in geological prospecting and exploration of PGE deposits in the Northern Fennoscandia. Interim results of the international project KOLARCTIC INTERREG III A North-TACIS N KA-0197*. Apatity, KarSC RAS, 56-67. (In Russ.)
- Korchagin A.U., Subbotin V.V., Mitrofanov F.P., Mineev S.D. (2009) "Kievev" PGE deposit in the West-Pana layered massif: geological structure and composition of mineralization. *Interreg-Tacis project: The strategic mineral resources of Lapland – base for the sustainable development of the North. Project materials*. V. 2. Apatity, KarSC RAS, 12-32. (In Russ.)
- Latypov R.M., Chistyakova S.Yu. (2000) Differentiation mechanism of the layered intrusive of the West Pana Tundra. Apatity, KNTs RAN Publ., 315 p. (In Russ.)
- Maier W.D., Barnes S.-J., Groves D.I. (2013) The Bushveld Complex, South Africa: formation of platinum-palladium, chrome- and vanadiumrich layers via hydrodynamic sorting of a mobilized cumulate slurry in a large, relatively slowly cooling, subsiding magma chamber. *Mineral. Depos.*, **48**, 1-56.
- Makkonen H.V., Halkoaho T., Konnunaho J., Rasilainen K., Kontinen A., Eilu P. (2017) Ni-(Cu-PGE) deposits in Finland – Geology and exploration potential. *Ore Geol. Rev.*, **90**, 667-696. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.06.008>
- McDonough W.F., Sun S.-S. (1995) The composition of the Earth. *Chem. Geol.*, **120**, 223-253.
- Middlemost E.A.K. (1994) Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Sci. Rev.*, **37**, 215-224.
- Miroshnikova Ya.A. (2022) Vein formations in the junction zone of the Monchegorsk pluton and the Monchetundra intrusion (Kola Peninsula, Russia). *Vestnik Murmanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, **25**(1), 27-37. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-1-27-37> (In Russ.)
- Miroshnikova Ya.A., Chernyavskii A.V., Bazai A.V. (2019) Ore mineralization of the Yuzhnosopchinsky-1 locality (Monchegorsk ore district, Kola Peninsula). *Zapiski Rossiiskogo Mineralogicheskogo Obshchestva*, **148**(1), 38-48. (In Russ.) <https://doi.org/10.30695/zrmo/2019.1481.03>
- Miroshnikova Ya.A., Pakhomovskii Ya.A. (2015) Vein bodies of the Moroshkovoe Lake site (Monchegorsk district) and associated mineralization. *Vestnik Murmanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, **18**(2), 280-286. (In Russ.)
- Mitrofanov F.P., Bayanova T.B., Vymazalova A., Gabov D.A., Groshev N.Yu., Zhirov D.V., Kazanov O.V., Kalinin A.A., Karpov S.M., Korchagin A.U., Laufek F., Plashil Ya., Pripachkin P.V., Rundkvist T.V., Savchenko E.E., Serov P.A., Stenli K.J., Subbotin V.V., Chashchin V.V. (2023) Kola platinum-metal province. Apatity, FRC KSC RAS Publ., 193 p. (In Russ.)
- Mitrofanov F.P., Pozhilenko V.I., Smolkin V.F., Arzamastsev A.A., Yevzerov V.Ya., Lyubtsov V.V., Shipilov E.V., Nikolaeva S.B., Fedotov Zh.A. (1995) Geology of Kola Peninsula (Baltic Shield). Apatity, KSC RAS Publ., 145 p.
- Mitrofanov F.P., Yakovlev Yu.N., Distler V.V., Balabonin N.L., Veselovskii N.N., Dokuchaeva V.S., Grokhovskaya T.L., Klyunin S.F., Zakharov A.A., Korchagin A.U. (1994) The Kola region – a new platinum province. *Geology and genesis of platinum metal deposits*. Moscow, Nauka Publ., 65-79. (In Russ.)
- Naldrett A.J. (2003) Igneous sulfide deposits of copper-nickel and platinum-metal ores. St.Petersburg, SPbGU Publ.,

- 487 p. (In Russ.)
- Naldrett A.J., Brügmann G.E., Wilson A.H. (1990) Models for the concentration for PGE in layered intrusions. *Canad. Miner.*, **28**, 398-408.
- Nozdrya E.V., Korchagin A.U., Reshetnik M.G. et al. (2006) Report on the results of exploration work, a feasibility study of the parameters of temporary conditions for calculating reserves and calculating the reserves of copper-nickel ores with platinoids of the Fedorova Tundra deposit (Bolshoy Ikhtegipakhk site) in the Murmansk region (in six books, eleven volumes, three folders of graphic applications). Unpublished Report in TFGI, Apatity, Russia. (In Russ.)
- Peck D.C., Keays R.R., James R.S., Chubb P.T., Reeves S.J. (2001) Controls on the formation of contact-type platinum-group element mineralization in the East Bull Lake intrusion. *Econ. Geol.*, **96**, 559-581.
- Pripachkin P.V. (2019) Main deposits and manifestations of platinum-metal ores of the Kola belt of layered intrusions (Kola Peninsula, Russia). *Lithosphere (Russia)*, **19**(5), 731-751. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2019-19-5-731-751>
- Pripachkin P.V. (2018) On the role of dike and vein bodies in the distribution of Cu-Ni-PGE mineralization in the Monchegorsk layered complex (Kola Peninsula, Russia). *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Geologiya*, **2**, 84-92. (In Russ.) <https://doi.org/10.17308/geology.2018.2/1526>
- Pripachkin P., Rundkvist T., Groshev N. (2023) Paleoproterozoic East Pana Layered Intrusion (Kola Peninsula, Russia): Geological Structure, Petrography, Geochemistry and Cu-Ni-PGE Mineralization. *Minerals*, **13**, 681. <https://doi.org/10.3390/min13050681>
- Pripachkin P.V., Rundkvist T.V., Miroshnikova Ya.A., Chernyavsky A.V., Borisenko E.S. (2016) Geological structure and ore mineralization of the South Sopchinsky and Gabbro-10 massifs and the Moroshkovoe Lake target, Monchegorsk area, Kola Peninsula, Russia. *Mineral. Depos.*, **51**(8), 973-992. <https://doi.org/10.1007/s00126-015-0605-0>
- Rundkvist T.V., Pripachkin P.V., Grebnev R.A. (2012) Peculiarities of relationships between intrusive bodies in the zone of contact between the ultramafic-mafic complexes of the Monchegorsk and Glavny ridges (Southnosopchinsky section, Kola Peninsula). *Lithosphere (Russia)*, (3), 65-79. (In Russ.)
- Rundkvist T.V., Pripachkin P.V., Grebnev R.A., Sevost'yanov A.Yu., Miroshnikova Ya.A. (2011) Geological structure and localization features of platinum-metal mineralization in the eastern part of the Yuzhnosopchinsky mafic-ultramafic massif (Kola Peninsula). *Rudy i Metally*, **5**, 58-68. (In Russ.)
- Rundkvist T.V., Pripachkin P.V., Groshev N.Yu., Miroshnikova Ya.A. (2017) Magmatic megabreccia in the Early Proterozoic mafic-ultramafic Monchegorsk complex (Kola region). *Geodynamics of the early Precambrian: similarities and differences with the Phanerozoic. Materials of scientific conference and guide of scientific excursions*. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 200-203. (In Russ. and Engl.)
- Rundkvist T.V., Pripachkin P.V., Miroshnikova Ya.A., Bazai A.V. (2016) New data on the geological structure and noble metal mineralization of the Yuzhnosopchinsky massif (Early Proterozoic Monchegorsk complex, Kola region). *Vestnik Kol'skogo NTs RAN*, **3**(26), 44-52. (In Russ.)
- Schissel D., Tsvetkov A.A., Mitrofanov F.P., Korchagin A.U. (2002) Basal Platinum-Group Element Mineralization in the Fedorov Pansky Layered Mafic Intrusion, Kola Peninsula, Russia. *Econ. Geol.*, **97**, 1657-1677.
- Sharkov E.N., Chistyakov A.V. (2014) Geological and petrological aspects of PGE-Cu-Ni mineralization in the Paleoproterozoic Monchegorsk layered mafic-ultramafic complex (Kola Peninsula). *Geol. Ore Depos.*, **56**(3), 147-168 (translated from *Geol. Rudn. Mestorozh.*, **56**(3), 171-194). <https://doi.org/10.1134/S1075701514030040>
- Smol'kin V.F., Fedotov Zh.A., Neradovskii Yu.N., Bayanova T.B., Borisova V.V., Glaznev V.N., Dedyukhin A.N., Orsoev D.A., Onenstetter M., Onenstetter D., Raevskii A.B., Tolstikhin I.N., Chashchin V.V., Mokrushin A.V., Novikov D.D., Ikorskii S.V., Kamenskii I.L., Delenitsyn A.A. (2004) Layered intrusions of the Monchegorsk ore region: petrology, mineralization, isotopy, deep structure. Pt 1. Apatity, KSC RAS Publ., 177 p. (In Russ.)
- Staritsyna G.N. (1958) On the issue of the genesis of gabbropegmatites of the Fedorova tundra. *Izvestiya Karel'skogo i Kol'skogo filialov AN SSSR*, **2**, 23-39. (In Russ.)
- Subbotin V.V., Korchagin A.U., Savchenko E.E. (2012) Platinum-metal mineralization of the Fedorovo-Pansky ore cluster: types of mineralization, mineral composition, features of genesis. *Vestnik Kol'skogo NTs RAN*, **1**, 55-66. (In Russ.)
- Sun S.-S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins*. (Eds A.D. Saunders, M.J. Narry). Geol. Soc. Spec. Publ., **42**, 313-345.
- Zientek M.L. (2012) Magmatic ore deposits in layered intrusions – Descriptive model for reef-type PGE and contact-type Cu-Ni-PGE deposits. U.S. Geological Survey Open-File Report 2012.1010. 48 p.
- Uord M., Kalinin A., Maklukhin D., Voitekhovich V. (2008) Kola Mining Geological Company – Prospecting for PGE in the East Pana layered massif. *The neighborhood cooperation and experience exchange in geological prospecting and exploration of PGE deposits in the Northern Fennoscandia. Interim results of the international project KOLARCTIC INTERREG III A North-TACIS N KA-0197*. Apatity, KNTs RAN, 52-55. (In Russ.)
- Voitekhovich V.S. et al. (2002) Information report on the results of prospecting for platinum group metals in the Monchegorsk district (Monchegorsk and Monchetundrovsky massifs) in 1999–2002. Monchegorsk. JSC “CKE”. B. 1, 236 p. (In Russ.)