





Геологическое строение, геохимия и медно-никелево-платинометалльное оруденение Восточно-Панского расслоенного интрузива (Кольский регион, Россия)

Грошев Н.Ю. , Припачкин П.В. , Рундквист Т.В. , Иванов А.Н., Сущенко А.М.
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, n.groshev@ksc.ru

Аннотация. Восточно-Панский интрузив входит в состав палеопротерозойского Федорово-Панского комплекса, относящегося к серии фенноскандинавских расслоенных ультрамафит-мафитовых массивов, имеющих подсчитанные запасы элементов платиновой группы (ЭПГ). В настоящей статье обсуждаются магматическая стратификация Восточно-Панского интрузива, химический состав кумулатов, а также геохимия Cu-Ni-ЭПГ оруденения, закономерно распределенного по его разрезу. Снизу вверх выделяются три уровня минерализованных пород, называемых платинометалльными зонами А, В и С: А – в пределах габброноритовой зоны 1; В – вдоль контакта между габброноритовой зоной 1 и габброноритовой зоной 2; С – между габброноритовой зоной 2 и габбровой зоной. Несмотря на отсутствие промышленного оруденения, на основании геохимических данных предполагается, что платинометалльная зона А, сильно обогащенная палладием ($Pd/Pt = 5-6$), относится к главной рудно-магматической системе Федорово-Панского комплекса, что так же справедливо для Северного платинометалльного рифа в Западно-Панском интрузиве. В связи с тем, что платинометалльные зоны В ($Pd/Pt = 2-3$) и С ($Pd/Pt = 0-1$), по-видимому, представляют второстепенные рудно-магматические системы, особое внимание привлекает факт обнаружения рудных тел в одной из них. Предполагается, что дополнительная магматическая инъекция сыграла важную роль в формировании оруденения на месторождении ЭПГ Восточное Чуарвы (зона В). Нормализованные спектры редких элементов показывают, что продукты кристаллизации этой инъекции (габброноритовая зона 2) имеют положительную Zr-Hf аномалию, отличающую ее от вмещающих пород с аномалией противоположного знака (габброноритовая зона 1, габбровая зона). Эта порция магмы, вероятно, внедрилась в виде силла кристаллической каши, фракционирование которой на глубине привело к ее обогащению остаточной жидкостью.

Ключевые слова: расслоенные интрузии, основные породы, ЭПГ, Восточно-Панский интрузив, Кольский регион.

Geological structure, geochemistry and copper-nickel-platinum-metal mineralization of the East Pana layered intrusion (Kola region, Russia)

Groshev N.Yu. , Pripachkin P.V. , Rundkvist T.V. , Ivanov A.N., Sushchenko A.M.
Geological Institute, Kola Science Centre RAS, Apatity, n.groshev@ksc.ru

Abstract. The East Pana intrusion is a part of the Paleoproterozoic Fedorova-Pana Complex belonging to the series of Fennoscandian layered mafic-ultramafic massifs, which have estimated reserves of platinum group elements (PGE). This article discusses the magmatic stratigraphy of the East Pana intrusion, chemical compositions of the cumulates as well as geochemistry of Cu-Ni-PGE mineralization having a regular distribution over the section. Three levels of PGE-mineralized rocks are distinguished from bottom to top: the PGE zone A within the Gabbronorite Zone 1, the PGE zone B along the contact between the Gabbronorite Zone 1 and Gabbronorite Zone 2, and the PGE zone C between the Gabbronorite Zone 2 and Gabbro Zone. Despite of the absence of economic mineralization, based on the whole-rock geochemistry, it is assumed that the PGE zone A, strongly enriched in palladium ($Pd/Pt = 5-6$), belongs to the major ore-magmatic system of the FPC that is also true for the North PGE Reef in the West Pana intrusion. The PGE zone B ($Pd/Pt = 2-3$) and C ($Pd/Pt = 0-1$) can be attributed to the minor ore-magmatic systems. Particular attention is drawn to the fact of the discovery of ore bodies in one of the latter. An additional magmatic injection is supposed to have played an important role in the mineralization formation at the East Chuarvy PGE deposit (PGE zone B). Normalized trace elements patterns show that the crystallization products of this injection (Gabbronorite Zone 2) have a positive Zr-Hf anomaly distinguishing it from the host rocks (Gabbronorite Zone 1, Gabbro Zone) with an anomaly of the opposite sign. This portion of magma was likely intruded as a sill of crystal mush, the fractionation of which led to its enrichment with residual liquid at depth.

Keywords: layered intrusions, mafic rocks, PGE, East Pana intrusion, Kola region.

Введение

Активные геологоразведочные работы, прошедшие в пределах палеопротерозойских расчлененных интрузий Фенноскандинавского щита в последние годы, позволили более чем в десяти из них оценить запасы элементов платиновой группы (ЭПГ), являющихся основным полезным компонентом руд при подчиненном значении меди, никеля и золота (Rasilainen et al., 2010; Pijina et al., 2015; Корчагин и др., 2016 и ссылки там; Chashchin, Ivanchenko, 2022). Наиболее крупные запасы сосредоточены в финских интрузивах Контиярви, Ахмаваара и Наркауз в комплексе Портимо, в интрузиве Пеникат, а также в российских интрузивах Вуручайвенч, Мончетундра и Южная Сопча Мончегорского комплекса и в пределах интрузивов Федорова, Западная Пана и Восточная Пана Федорово-Панского комплекса (ФПК). Несмотря на то, что Восточная Пана среди этих массивов является наиболее труднодоступным, именно здесь было открыто первое российское месторождение ЭПГ в расчлененной интрузии. Месторождение Восточное Чуарвы было открыто в 2006 г. благодаря усилиям ООО «Кольская горно-геологическая компания» (Kazanov, Kalinin, 2008) и других научных и производственных организаций (Митрофанов и др., 2004; Ward et al., 2008).

Поскольку так называемая платинометаллическая зона В, вмещающая Восточное Чуарвы, отстоит от нижнего контакта интрузии на ~ 400 м (Kalinin, 2021), месторождение может быть отнесено к рифовому типу ЭПГ минерализации, для которого характерны протяженные на десятки километров рудные тела мощностью всего несколько метров. В отличие от широко известных непрерывных рифов Меренского и UG-2 в ЮАР (Cawthorn, 2010) и J-M рифа в США (Godel, Barnes, 2008), платинометаллическая зона В протягивается на 17 км по разрозненным точкам минерализации, обнаруженным в элювии, и далеко не всегда подтверждается в скважинах. Многие минерализованные уровни фенноскандинавских расчлененных интрузий являются прерывистыми и обладают сходными характеристиками: например, рифы ФТ-1 и ФТ-2 в интрузиве Федорова (Грошев, Савченко, 2011; Groshev et al., 2019), Южный риф и экстремально богатые ЭПГ прерывистые сульфиды оливинового горизонта в интрузиве Западная Пана (Габов, Субботин, 2006; Groshev, Karykowski, 2019), а также ряд платиновых рифов в финских интрузивах (e.g., Pijina et al., 2015). Размер нового месторождения в пределах зоны В небольшой – всего несколько тонн благородных металлов (Ward et al., 2008). Однако факт открытия рудного тела в прерывистой зоне точно весьма богатого оруденения нацеливает на поиск ключевого процесса, ответственного за его формирование. Выявление такого процесса способствует эффективным поискам новых месторождений вдоль прерывистых рудных зон, широко распространенных на Фенноскандинавском щите.

В настоящей статье представлена попытка выделить различные рудно-магматические системы в интрузиве Восточная Пана путем обобщения данных по геологическому строению массива, геохимии ЭПГ оруденения, а также анализа новых данных по рассеянным элементам для каждой стратиграфической единицы.

Методика исследования

Состав редких элементов в породах Восточно-Панского интрузива охарактеризован на основе результатов 39 анализов (база данных Т.В. Рундквист), выполненных методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург). Для характеристики геохимии рудогенных элементов в минерализованных зонах интрузива используются, главным образом, результаты опробования керн скважин из отчета (Калинин, 2008). Всего в статье рассматриваются 599 анализов минерализованных пород на Au, Pt, Pd, Cu, Ni и S, включая данные по керну из пересечений платинометаллической зоны С, предоставленные А.А. Калининым.

Геологическое строение и рудный потенциал Восточно-Панского интрузива

В настоящей статье принята упрощенная схема геологического строения Восточно-Панского интрузива, предложенная в оригинале О.В. Казановым и А.А. Калининым (Kazanov, Kalinin, 2008) и использованная при постановке месторождения Восточное Чуарвы на государственный баланс

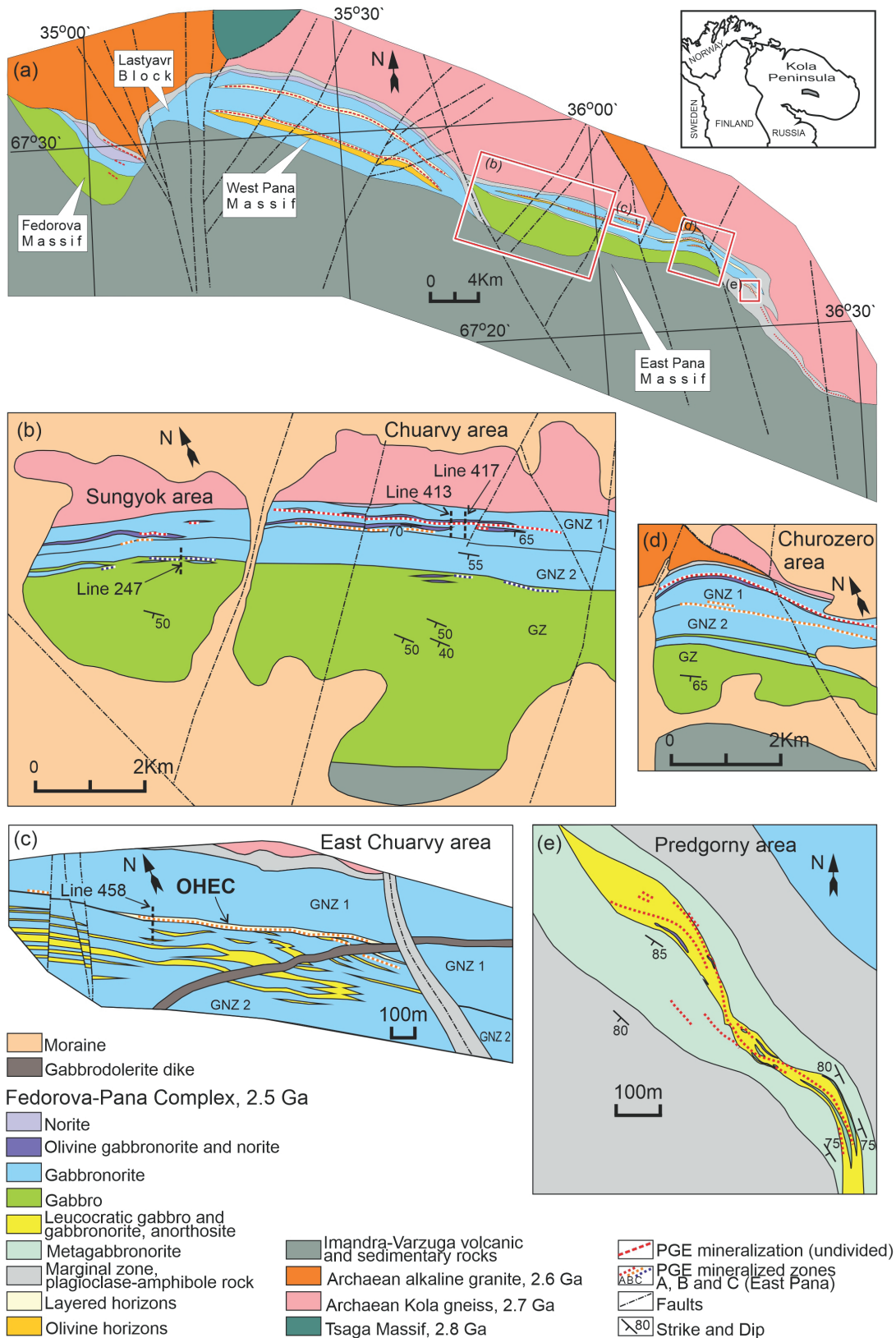


Рис. 1. Упрощенная геологическая карта Федорово-Панского комплекса (а) и геологические схемы детальных участков Восточно-Панского интрузива (б–е). ОНЕС – рудный горизонт месторождения Восточное Чуарвы. С изменениями по (Калинин, 2008).

Fig. 1. Simplified geologic map of the Fedorova-Pana layered complex (a) and geologic sketches for detailed areas of the East Pana intrusion (b–e). OHEC, Ore Horizon of the East Chuarvy deposit. Modified after (Kalinin, 2008).

(Ward et al., 2008). В разрезе Восточно-Панского интрузива выделяются (рис. 1, 2): краевая зона (MZ), габброноритовая зона 1 (GNZ 1), габброноритовая зона 2 (GNZ 2) и габбровая зона (GZ).

MZ представляет собой полосу преимущественно измененных мелкозернистых и тонкозернистых габброноритов шириной 30–50 м на контакте интрузии с архейскими породами.

GNZ 1, сложенная в основном такситовыми мелко-среднезернистыми габброноритами, развита на всем протяжении интрузива. Максимальная мощность зоны достигается на участке Чузарский и составляет 550 м. В разрезе могут быть выделены две подзоны: GNZ 1a и GNZ 1b (рис. 2A–C). Такситовые габбронориты с зернистостью, варьирующей от мелкой до средней, преобладают в пределах GNZ 1a. GNZ 1b характеризуется более сложным строением. В ней, помимо преобладающих пойкилитовых габброноритов, широким распространением пользуются среднезернистые оливиновые габбронориты, а также лейкогаббро, нориты, пироксениты и пегматоидные

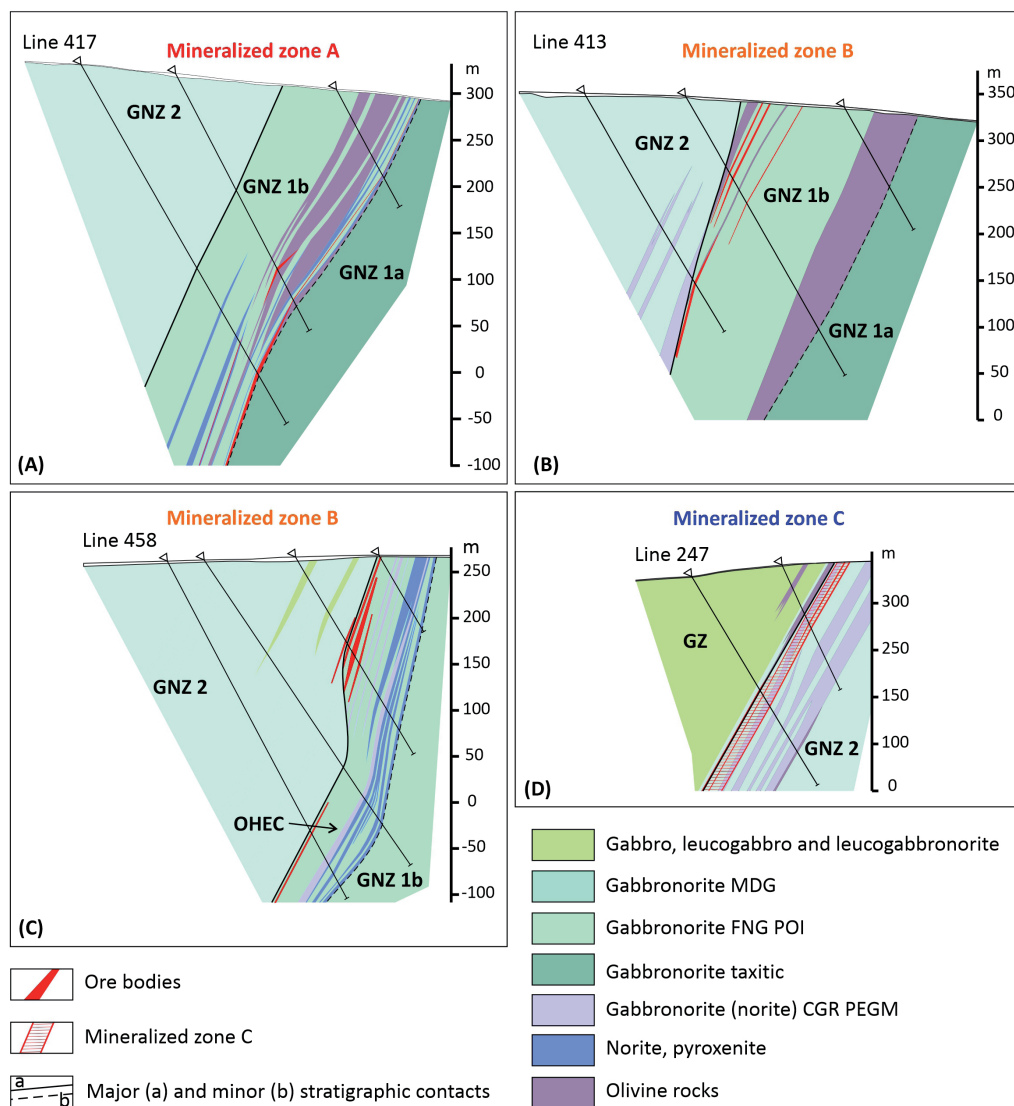


Рис. 2. Схематические геологические разрезы зон ЭПГ минерализации в Восточно-Панском интрузиве: зона А (А), зона В (В, С), зона С (D). С изменениями по (Калинин, 2008). GNZ – габброноритовая зона, GZ – габбровая зона, ОНЕС – рудный горизонт месторождения Восточное Чуарвы, FNG – тонкозернистый, MDG – среднезернистый, CGR PEGM – крупнозернистый до пегматоидного, POI – пойкилитовый.

Fig. 2. Schematic geologic cross sections of the PGE mineralized zones in the East Pana intrusion. (A) zone A, (B, C) zone B, and (D) zone C. Modified after (Kalinin, 2008). GNZ, Gabbro norite Zone; GZ, Gabbro Zone; ОНЕС, Ore Horizon of the East Chuarvy deposit; FNG, fine-grained; MDG, medium-grained; CGR PEGM, from coarse-grained to pegmatoid; POI, poikilitic.

габброиды. Верхняя часть GNZ 1b на участке Восточное Чуарвы характеризуется выраженным модалным и структурно-текстурным разнообразием пород и выделяется как рудный горизонт Восточное Чуарвы (ОНЕС, рис. 2 С).

GNZ 2 выделяется в стратиграфии интрузива Восточная Пана относительно простым геологическим строением с преобладанием среднезернистых габброноритов. Мощность GNZ 2 варьирует от 350 до 1000 м. Меланократовые габброиды и пироксениты отмечаются в основании зоны в виде крайне маломощных и прерывистых прослоев. Лейкократовые габброиды образуют относительно редкие слои (рис. 1 С, рис. 2 С).

GZ мощностью около 3000 м сложена преимущественно крупнозернистым лейкогаббро, среди которого отмечаются прослои лейкогабброноритов, пижонитовых габброноритов и оливинитовых габбро. Последние встречаются на двух уровнях разреза зоны: в нижней части, на контакте с GNZ 2, и в средней части, в 1100 м от основания GZ.

Платинометалльное оруденение, изученное от участка Сунгйок и далее на восток по участкам Чуарвы, Восточный Чуарвы, Безымянный, Чурозерский и Предгорный (рис. 1), развито на трех уровнях интрузива, называемых платинометалльными зонами А, В и С (Kazanov, Kalinin, 2008). Каждая из зон тяготеет к границе крупного стратиграфического подразделения и отличается от других своими геохимическими характеристиками.

Платинометалльная зона А приурочена к нижней части разреза или основанию GNZ 1b (рис. 2 А). Зона А прослежена более чем на 20 км по простиранию и представлена на проявлениях Сунгйок, Чуарвы и Восточный Чуарвы, а также участках Чурозерский и Предгорный. Минерализованные породы характеризуются относительно высокими содержаниями сульфидов (до 5 об. %) и значительным обогащением палладием ($Pd/Pt = 5-6$). Наиболее богатое пересечение расположено на участке Чуарвы, где рудная зона, состоящая из трех рудных тел общей мощностью 7 м, содержит 0.8 ppm Pt и 3.4 ppm Pd (Kalinin, 2021).

Платинометалльная зона В тесно ассоциирует с контактом между GNZ 1 и GNZ 2, большей своей частью располагаясь в пределах GNZ 1 (рис. 2 В, С). Оруденение зоны В прослежено на проявлениях Сунгйок, Чуарвы, Безымянный и месторождении Восточное Чуарвы. Количество сульфидов в минерализованных породах колеблется в диапазоне 0.5–2 об. %, отношение $Pd/Pt = 1.5-2.5$. Концентрации Pt и Pd в руде месторождения Восточное Чуарвы в среднем составляют 2.4 и 5.2 ppm соответственно (Ward et al., 2008).

Платинометалльная зона С, приуроченная к границе между GNZ 2 и GZ (рис. 2 D), прослежена только в западной части массива, в пределах участков Сунгйок и Чуарвы. Минерализованные породы отличаются практически полным отсутствием видимых сульфидов и обогащены платиной ($Pd/Pt = 0.5-1$). В скважине на участке Сунгйок зона С имеет мощность 1.6 м и содержание суммы ЭПГ 2.1 ppm (Ward et al., 2008).

Таким образом, платинометалльное оруденение закономерно распределено по разрезу интрузива Восточная Пана и изменяется снизу вверх от относительно обогащенных палладием пород с вкрапленностью сульфидов до пород практически без сульфидов с обогащением платиной.

Геохимия литофильных элементов

Суммарное содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) в породах Восточно-Панского интрузива, за исключением габбро-пегматитов и даек, низкое и практически не различается по участкам. В породах GNZ (1 и 2) содержание суммы РЗЭ изменяется от 7.6 до 23.5 ppm, в породах габбровой зоны – от 6.95 до 27.6 ppm. В габброноритах и метагабброноритах на восточном фланге массива, на участке Предгорный, концентрация суммы РЗЭ варьирует от 6.4 до 15.4 ppm. На участке Восточный Чуарвы в габброноритах ОНЕС суммарное содержание РЗЭ составляет от 10.7 до 28.7 ppm, а в габброноритах GNZ 2 это значение немного выше и варьирует от 13.0 до 36.2 ppm. Повышенные концентрации РЗЭ наблюдаются в габбро-пегматитах – от 88.3 до 405.3 ppm и в дайке метагаббро-долерита – 136.9 ppm. Все породы интрузива характеризуются отрицательным наклоном распределения РЗЭ на нормированных графиках с незначительным обогащением легкими РЗЭ.

Диаграммы нормированного распределения редких элементов показаны на рисунке 3. Для большинства пород характерны ярко выраженные положительные Sr аномалии. Положительные Sr аномалии, так же как и положительные Eu аномалии, свидетельствуют о накоплении плагиоклаза в этих породах в ходе дифференциации магмы. Для большинства пород проявлены отрицательные Nb аномалии. Отрицательные аномалии Zr и Hf наблюдаются для всех проанализированных пород (рис. 3 А, С и D), кроме габброноритов ОНЕС и GNZ 2 (рис. 3 В). Практически каждый из образцов ОНЕС отличается от другого образца из этого же горизонта по характеру спектра редких элементов (рис. 3 В). Породы GNZ 2 участка Восточный Чуарвы демонстрируют более выдержанный характер спектров по сравнению с породами ОНЕС и отличаются от спектров пород GNZ 1 и GZ (рис. 3 В).

Габбро-пегматиты участка Восточное Чуарвы по сравнению с габброноритами содержат повышенное количество большинства редких элементов (рис. 3 В). Диаграммы распределения редких элементов для габбро-пегматитов демонстрируют отрицательные Sr аномалии, указывая на свое возможное образование в результате отжима остаточной жидкости из плагиоклазовых кумулатов.

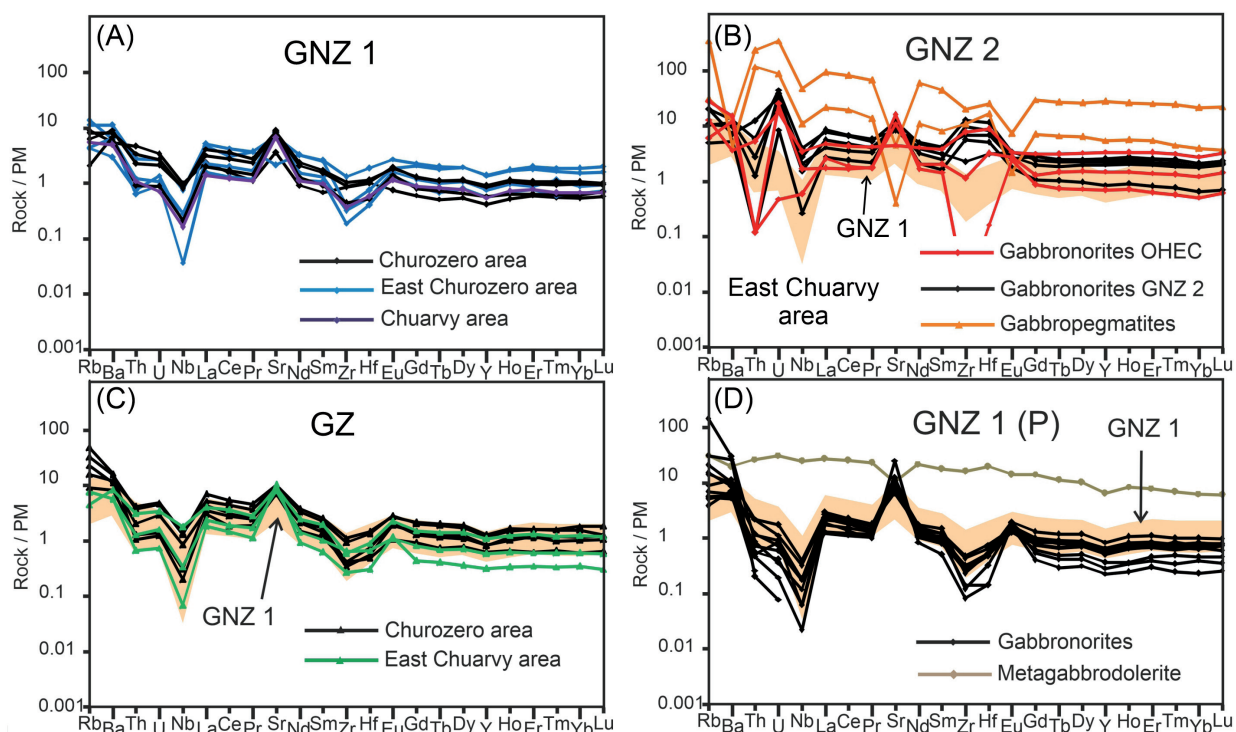


Рис. 3. Нормализованные к примитивной мантии мультиэлементные вариационные диаграммы для пород Восточно-Панского интрузива. Факторы нормализации по (McDonough, Sun, 1995). P – участок Предгорный.
 Fig. 3. Primitive mantle-normalized multi-element variation diagrams of East Pana rock types analyzed for this study. Normalization factors from (McDonough, Sun, 1995). P, Predgornyy area.

Геохимия рудогенных элементов

Концентрации Au, Pt и Pd в зоне А, превышающие в сумме в отдельных случаях 20 ppm, хорошо коррелируют с S, Cu и Ni (рис. 4 А–D), указывая на сульфидный контроль ЭПГ минерализации. Cu/Ni отношение показывает наличие двух трендов (рис. 4 С): в одном это отношение составляет 1, в другом – 2. По-видимому, существенный вклад в возникновение первого тренда вносит никель, входящий в силикатные минералы оливиновых пород. Однако в среднем зона А по обогащению сульфидов медью ($Cu/Ni_{\text{средн.}} = 1.3$) близка минерализации Северного платинометалльного рифа в Западно-Панском массиве (для месторождения Киевей $Cu/Ni_{\text{средн.}} = 1.1$). Аналогичное наблюдение

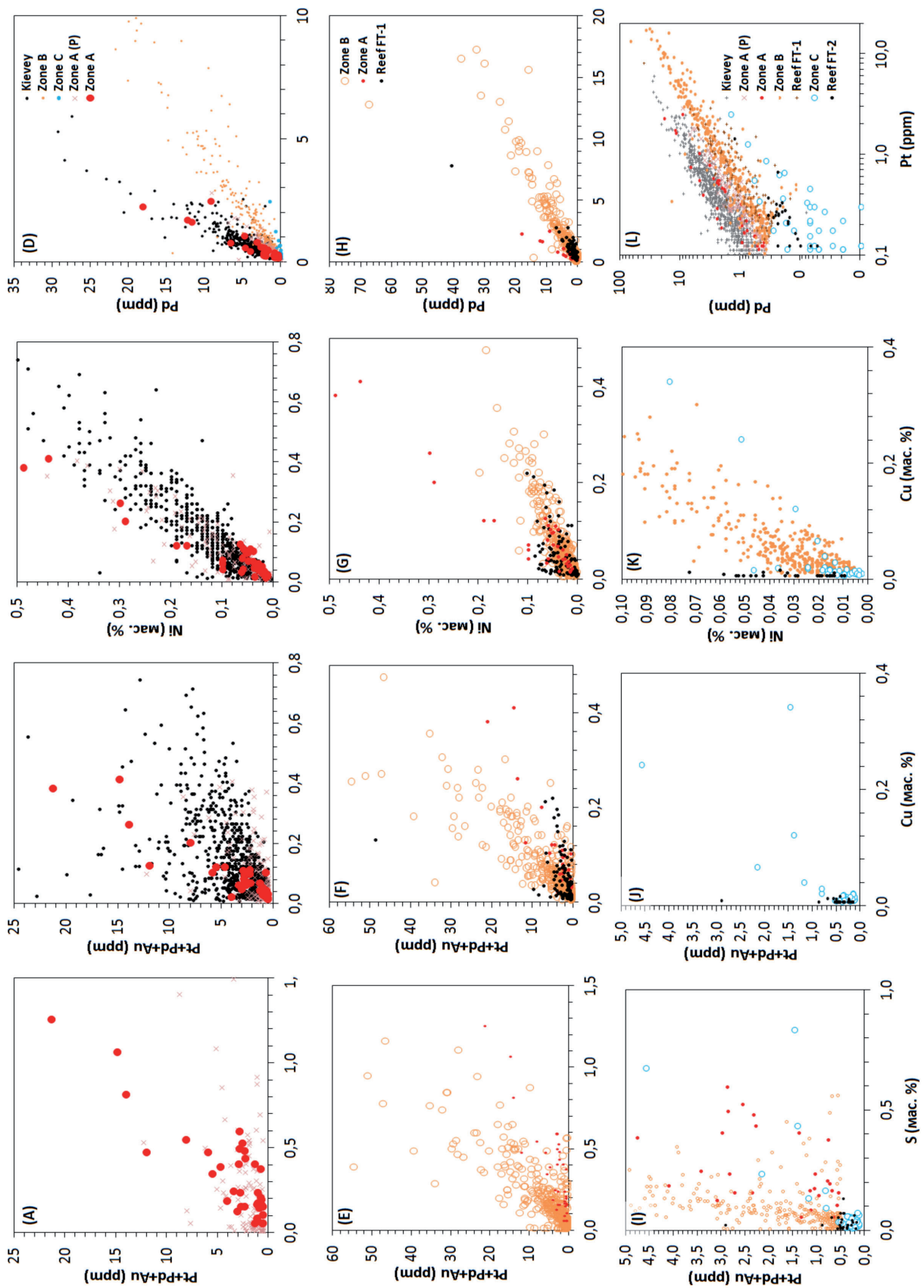


Рис. 4. Бинарные диаграммы S vs. Pt+Pd+Au, Cu vs. Ni и Pt vs. Pd для минерализованных пород из разных платинометалльных зон Восточно-Панского интрузива. Аналитические данные взяты из (Корчагин и др., 2007; Калинин, 2008; Грошев, Савченко, 2011; Groshev et al., 2019), за исключением рифа ФТ-1 (Грошев, неопубликованные данные). Р – участок Предгорный.

А–D: ЭПГ зона А, включающая 35 проб из скважин Р-253 и Р-350 на участках Чурозеро и Чуарвы соответственно и 127 проб участка Предгорный (Р), в сравнении с другими минерализованными зонами Восточной Паны и месторождением Киевей в Северном платинометалльном рифе Западно-Панского интрузива. Pt+Pd+Au>0.5 ppm.

Е–Н: ЭПГ зона В, охарактеризованная 402 пробами из месторождения Восточное Чуарвы, в сравнении с ЭПГ зоной А и рифом ФТ-1 в интрузиве Федорова. Pt+Pd+Au>0.5 ppm.

И–L: ЭПГ зона С, охарактеризованная 35 пробами (Pt>0.1 ppm) из скважины Р-494 и Р-501 на участке Сунгйок, в сравнении с другими ЭПГ зонами интрузива Восточная Пана и рифом ФТ-2 в интрузиве Федорова.

Fig. 4. Binary diagrams S vs. Pt+Pd+Au, Cu vs. Ni and Pt vs. Pd for mineralized rocks from different PGE zones of the East Pana intrusion. Analytical data were taken from (Korchagin et al., 2007; Kalinin, 2008; Groshev, Savchenko, 2011; Groshev et al., 2019), except the FT-1 reef (Groshev, unpublished).

(A–D) PGE zone A, including 35 samples from the drill holes P-253 and P-350 on the Churozero and Chuarvy sites respectively and 127 samples from the Predgorny site, in comparison with other mineralized zones at East Pana and the Kievey deposit in the North PGE reef of the West Pana intrusion. Pt+Pd+Au>0.5 ppm.

(E–H) PGE zone B characterized by 402 samples from the East Chuarvy deposit as compared to the PGE zone A and FT-1 reef of the Fedorova intrusion.

(I–L) PGE zone C characterized by 35 samples (Pt>0.1 ppm) from the drill holes P-494 and P-501 on the Sungyok site as compared to other PGE zones of the East Pana intrusion and FT-2 reef of the Fedorova intrusion.

можно сделать в отношении палладия (рис. 4 D), резко преобладающего над платиной в минерализованных породах зоны А ($Pd/Pt_{\text{средн.}} = 5.6$). Наиболее удаленный к востоку участок зоны А, Предгорный, по своим геохимическим характеристикам ($Pd/Pt_{\text{средн.}} = 4.7$, $Cu/Ni_{\text{средн.}} = 1.4$) весьма близок как к западным участкам этой зоны, так и Северному платинометалльному рифу. Следует отметить также сходство этого участка с минерализованными породами месторождения Федорова тундра с $Pd/Pt = 4.1$ и $Cu/Ni = 1.5$ (Groshev et al., 2019). Кроме этого, обратим внимание на то, что зона А с учетом наличия буровых пересечений на всех участках является наиболее протяженной минерализованной зоной интрузива Восточная Пана, прослеженной с многочисленными перерывами на расстояние более 20 км (рис. 1).

Следует отметить, что присутствие горизонтов оливиновых пород и платинометалльного оруденения в GNZ 1 на Восточной Панае и в верхних частях Западно-Панского массива использовалось ранее в качестве аргумента в пользу возможности корреляции разрезов этих интрузивов (Карпов, 2004). Геохимия минерализованных пород зоны А показала, что это оруденение ближе по своим свойствам к минерализованным породам Северного рифа, в то время как оруденение верхних частей Западной Паны имеет значительно более выраженное обогащение палладием ($Pd/Pt \sim 10$; Groshev et al., 2019). Кроме этого, отрицательные платиновые аномалии на нормированных к примитивной мантии спектрах халькофильных элементов для пород верхних частей Западной Паны (Грошев и др., 2022) указывают на вероятную принадлежность этих частей к отдельной рудно-магматической системе, возможно, предшествующей главной системе ФПК по времени формирования. Естественно, что к главной рудно-магматической системе ФПК по определению относятся крупные и средние месторождения (Федорова Тундра, Киевей, Северный Каменник), а также, как показывает геохимия рудогенных элементов, минерализованная зона А и вмещающая ее GNZ 1 в Восточно-Панском интрузиве.

Сульфиды зоны В, как видно из сравнения на рисунке 4 Е, в среднем примерно в три раза богаче благородными металлами, чем сульфиды зоны А. Следует отметить более выраженное обогащение сульфидов зоны В медью (рис. 4 G). Среднее Cu/Ni отношение в минерализованных породах зоны В выше, чем в зоне А, и составляет 1.7. В отличие от зоны А, зона В характеризуется менее заметным обогащением палладием: $Pd/Pt_{\text{средн.}} = 2.6$. Отметим, что как по обогащению сульфидов

медью, так и по соотношению ЭПГ, минерализованные породы зоны В весьма близки к рифу ФТ-1 в Федоровском интрузиве ($Cu/Ni_{\text{средн.}} = 1.7$; $Pd/Pt_{\text{средн.}} = 2.1$). В сравнении с зоной А, подтвержденная бурением протяженность зоны В меньше и составляет около 15 км, хотя по количеству перерывов в распространении оруденения зоны очень похожи. На участке Восточный Чуарвы разведано небольшое одноименное месторождение с главным рудным телом длиной 1200 м (Kalinin, 2021).

Зона С резко отличается от остальных рудных зон интрузива Восточная Пана не только по протяженности и геологическому положению, но и по всем геохимическим характеристикам (рис. 4 I–L). В элювии вблизи границы GNZ 2 и GZ зона С прослеживается на расстояние около 8 км. В единичных скважинах зона представлена интервалами мощностью 15–20 м с повышенными концентрациями платины на уровне 0.1–0.5 ppm, которые сопровождаются такими же содержаниями палладия. В отдельных пробах зоны С отмечаются высокие концентрации ЭПГ (до 2.4 ppm Pt и до 1.5 ppm Pd) и Au (до 0.7 ppm), которые имеют широкую корреляцию с серой (рис. 4 I). Отсутствие корреляции ЭПГ и S при низких концентрациях, по-видимому, связано с невысокой точностью определения S при ее содержании менее 0.05 мас. %. С другой стороны, это можно объяснить развитием двух типов ЭПГ оруденения в пределах зоны С, один из которых сформировался в постмагматический этап и представлен минералами платиноидов, приуроченными к интервалам метасоматических изменений пород и трещинам в породообразующих минералах (Логовская и др., 2021). Зона С обогащена Pt относительно Pd: Pd/Pt отношение редко превышает 1, составляя в среднем 0.5, что близко к геохимическим характеристикам рифа ФТ-2 в зоне лейкогаббро Федоровского интрузива (рис. 4 L), а также рифового горизонта в Волчьетундровском массиве (Чашин и др., 2019).

Обсуждение и выводы

Массив Восточная Пана представляет собой самостоятельный расслоенный интрузив, состоящий из трех крупных дифференцированных стратиграфических подразделений (GNZ 1, GNZ 2 и GZ), не встречающихся в такой последовательности в прилегающем Западно-Панском интрузиве и не содержащих каких-либо маркирующих горизонтов, позволяющих объединить их разрезы. Платинометалльное оруденение каждого стратиграфического подразделения относится к рифовому типу, имеет четкие геохимические различия и, по-видимому, принадлежит к разным рудно-магматическим системам ФПК, что подчеркивается многими геохимическими характеристиками, но наиболее ярко – отношением Pd/Pt в минерализованных породах.

Платинометалльная зона А в GNZ 1 является наиболее протяженной и может быть отнесена к главной рудно-магматической системе комплекса, включающей в себя месторождения Киевей, Каменник и Федорова тундра. Платинометалльные зоны В и С, связанные с нижними контактами GNZ 2 и GZ соответственно, относятся, очевидно, к второстепенным рудно-магматическим системам ФПК, несмотря на выявление месторождения Восточное Чуарвы в пределах зоны В. Кроме этих зон, в эту группу могут быть отнесены рифы ФТ-1 и ФТ-2 интрузива Федорова.

Характерной особенностью всех трех минерализованных зон интрузива Восточная Пана является прерывистость. Максимальная длина непрерывной рудной зоны составляет всего лишь 1200 м (зона В, Восточное Чуарвы), хотя общая длина всей этой зоны составляет 17 км. Поскольку минерализованные уровни подобного рода часто встречаются в ФПК (Groshev et al., 2019), факт открытия месторождения в зоне В нацеливает на более тщательные поиски.

Полученные новые геохимические данные показывают значительное сходство состава литофильных элементов в целом в породах всех стратиграфических подразделений. Однако заметным отличием является положительная Zr-Hf аномалия в породах GNZ 2, а также в породах локально развитого ОНЕС. Это отличие, наряду с установленными на разрезах эрозионными взаимоотношениями с расслоенностью GNZ 1, указывает, на наш взгляд, на позднее внедрение магмы GNZ 2 в виде силла кристаллической каши, фракционирование которой на глубине могло привести к ее обогащению остаточной жидкостью. Предположительно, это дополнительное внедрение играло важную роль в платинометалльном рудообразовании на месторождении Восточное Чуарвы.

Вопрос о последовательности формирования стратиграфических подразделений интрузива Восточная Пана представляется интересным с точки зрения изотопно-геохронологических исследований. В настоящий момент данных о нарушении нормальной последовательности (выше – моложе) не существует, поэтому для интрузива можно предполагать эволюцию рудно-магматической системы с тенденцией уменьшения отношения Pd/Pt как по разрезу, так и по времени формирования.

Благодарности

Авторы благодарны А.А. Калинину за предоставление данных опробования скважин, пересекающих платинометалльную зону С.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФ № 22-27-20106,
<https://rscf.ru/project/22-27-20106/>.

Литература

1. Габов Д.А., Субботин В.В. Платинометалльная минерализация оливинового горизонта Западно-Панского массива // *Материалы XVII молодежной научной конференции, посвященной памяти К.О. Кратца*. 2006. С. 21–24.
2. Грошев Н.Ю., Савченко Е.Э. Риф Невидимый – новый уровень малосульфидной платинометалльной минерализации в массиве Федоровой тундры (Кольский полуостров, Россия) // *Руды и металлы*. 2011. № 5. С. 15–26. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4111.5366>.
3. Грошев Н.Ю., Рундквист Т.В., Мансур Э.Т., Барнс С.-Дж., Иванов А.Н., Сущенко А.М. Геохимические и изотопно-геохронологические свидетельства необычной последовательности формирования Западно-Панского расслоенного интрузива // *Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал. Материалы VII Всерос. (с межд. участ.) конференции. Апатиты*. 2022. С. 34–37.
4. Логовская Г.В., Казанов О.В., Корнеев С.И. Особенности минерального состава и распределения благороднометалльной минерализации платинометалльной зоны «С» Восточно-Панского расслоенного массива (Кольский полуостров) // *Горная промышленность*. 2021. № 5-2. С. 6–16.
5. Митрофанов Ф.П., Корчагин А.У., Рундквист Т.В. Федорово-Панская расслоенная мафическая интрузия (Кольский п-ов): геология и платинометалльное оруденение // *Крупные и суперкрупные месторождения: закономерности размещения и условия образования*. 2004. С. 175–186.
6. Калинин А.А. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на платинометалльное оруденение в восточной части массива Панских тундр в 2006–2008 гг. Апатиты-Мончегорск. 2008.
7. Карпов С.М. Геологическое строение Панского интрузива и особенности локализации в нем комплексного платинометалльного оруденения // *Автореферат: дис. на соискание уч. степ. к. г.-м. н. Апатиты*. 2004.
8. Корчагин А.У. Отчет о результатах геологоразведочных работ на платинометалльном месторождении «Киевей», ТЭО временных разведочных кондиций и подсчет запасов металлов платиновой группы, меди и никеля (по состоянию на 01.09.2007 г.). Апатиты. 2007.
9. Корчагин А.У., Гончаров Ю.В., Субботин В.В., Грошев Н.Ю., Габов Д.А., Иванов А.Н., Савченко Е.Э. Геология и вещественный состав руд малосульфидного платинометалльного месторождения Северный Каменник в Западно-Панском массиве (Кольский полуостров, Россия) // *Руды и металлы*. 2016. № 1. С. 42–51.
10. Chashchin V.V., Ivanchenko V.N. Sulfide PGE-Cu-Ni and Low-Sulfide Pt-Pd Ores of the Monchegorsk Ore Region (Western Sector of the Arctic): Geological Characteristics, Mineralogical, Geochemical and Genetic Features // *Geol. Geophys.* 2022. V. 63. P. 622–650.
11. Sawthorn R.G. The Platinum Group Element Deposits of the Bushveld Complex in South Africa // *Platin. Met. Rev.* 2010. V. 54. P. 205–215. doi:10.1595/147106710X520222.
12. Chashchin V.V.; Savchenko Y.E.; Lyulko M.S. Deep-Seated Xenolith of the Platinum-Bearing Websterite from the Paleoproterozoic Volchetundra Gabbro-Anorthosite Massif in the Kola Region. *Dokl. Earth Sci.* 2019. No. 486. P. 477–480. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19050015>.
13. Godel B., Barnes S. Platinum-Group Elements in Sulphide Minerals and the Whole Rock of the J-M Reef (Stillwater Complex): Implication on Ore Formation of the Reef // *Chem. Geol.* 2008. V. 248. P. 272–294. doi:10.2/JQUERY.MIN.JS.
14. Groshev N.Y., Rundkvist T.V., Karykowski B.T., Maier W.D., Korchagin A.U., Ivanov A.N., Junge M. Low-sulfide Platinum-palladium Deposits of the Paleoproterozoic Fedorova-Pana Layered Complex, Kola Region, Russia // *Minerals*. 2019. V. 9. P. 764. doi:10.3390/min9120764.

15. Groshev N.Y., Karykowski B.T. The Main Anorthosite Layer of the West-Pana Intrusion, Kola Region: Geology and U-Pb Age Dating // *Minerals*. 2019. V. 9 (2). P. 71. doi:10.3390/min9020071.
16. Iljina M., Maier W.D., Karinen T. PGE-(Cu-Ni) deposits of the Tornio-Näränkäväära belt of intrusions (Portimo, Penikat, and Koillismaa) // *Mineral deposits of Finland*. Elsevier. 2015. P. 133–164. doi:10.1016/B978-0-12-410438-9.00005-4.
17. Kazanov O.V., Kalinin A.A. The Structure and PGE Mineralization of the East Pana Layered Massif // *Interim results of the International Project KOLARCTIC INTERREG III A North-TACIS N KA-0197*. Apatity: KSC RAS. 2008. P. 56–67.
18. Kalinin A.A. Precious Metal Mineralization in the East Pana Layered Massif // *The Fennoscandian School of Ore Genesis in Layered Intrusions*. Apatity. 2021. P. 20–23. <http://dx.doi.org/10.31241/ARLIN.2021.000>.
19. McDonough W.F., Sun S. S. The Composition of the Earth // *Chem. Geol.* 1995. V. 120. P. 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4).
20. Rasilainen K., Eilu P., Halkoaho T., Iljina M., Karinen T. Quantitative Mineral Resource Assessment of Undiscovered PGE Resources in Finland // *Ore Geol. Rev.* 2010. V. 38. P. 270–287. doi:10.1016/J.OREGEOREV.2010.05.001.
21. Ward M., Kalinin A., McLuhlin D., Voitekhovich V. Kola Mining Geological Company LTD (KMGC) – Prospecting for PGE in the East Pana Layered Massif // *Interim results of the International project KOLARCTIC INTERREG III A North-TACIS N KA-0197*. Apatity: KSC RAS. 2008. P. 52–55.