

**МАЛОСУЛЬФИДНОЕ ПЛАТИНОМЕТАЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ
ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОГО ВОЛЧЬЕТУНДРОВСКОГО МАССИВА
ГАББРО-АНОРТОЗИТОВ (Кольский полуостров, Россия)**

В.В. Чащин

*Геологический институт Кольского научного центра РАН, 184209, Апатиты, Мурманская обл., ул. Ферсмана,
14, Россия*

Приведены сведения о внутреннем строении палеопротерозойского Волчъетундровского массива габбро-анортозитов, особенностях локализации в нем малосульфидного платинометалльного оруденения, его характеристика и минеральный состав. Волчъетундровский массив длиной 24 км при ширине от 500 м до 4 км слагает среднюю часть комплекса автономных анортозитов Главного Хребта общей протяженностью 75 км, вытянутого в субмеридиональном направлении. Во внутреннем строении массива выделяются эндоконтактовая краевая и главная зоны. Краевая зона мощностью от 20 до 400 м сложена мезо-лейкократовыми норитами, габбро-норитами, плагиоклазитами, реже ортопироксенитами. Главная зона слагает основной объем массива и представлена крупнозернистыми лейкократовыми габбро, габбро-норитами и анортозитами. Малосульфидное платинометалльное оруденение Волчъетундровского массива пространственно и генетически связано с сульфидной вкрапленностью (1–5 %), отчетливо делится на два типа, которые существенно различаются условиями локализации, минеральным составом, основными химическими параметрами и промышленной значимостью. К первому типу относится оруденение, локализованное в пределах краевой зоны и имеющее наибольший промышленный потенциал. Ко второму типу принадлежит оруденение, развитое в пределах главной зоны. Минеральный состав платинометалльного оруденения представлен 22 минеральными видами, среди которых преобладают сульфиды, в подчиненном количестве присутствуют висмутотеллуриды и арсениды.

Волчъетундровский массив, краевая зона, главная зона, нориты, лейкогаббро, платиноиды, минералы платиновой группы

**LOW-SULFIDE PGE MINERALIZATION IN THE PALEOPROTEROZOIC
VOLCHETUNDRA GABBRO-ANORTHOSITE MASSIF (KOLA PENINSULA,
RUSSIA)**

V.V. Chashin

Provides information about the internal structure of Paleoproterozoic Volchetundra gabbro-anorthosites massif, features localization in it of low-sulfide PGE mineralization, its characteristics and mineral composition. The Volchetundra massif 24 km long and 0.5-4 km wide occupies the middle part of the autonomous anorthosites Main Range complex, which extends for 75 km in the nearly meridional direction. The main and endocontact marginal zones are distinguished in the internal composition massif. The marginal zone 20-400 m thickness is composed meso-leucocratic norites, gabbro-norites, plagioclases, rarely orthopyroxenites. The main zone compose basic volume of massif and presents of coarse-grained leucocratic gabbro, gabbro-norites and anorthosites. Low-sulfide PGE mineralization of the Volchetundra massif spatially and genetically associated with sulfide dissemination (1-5 %), distinctly divided into two types, which differ considerably of environment localization, mineral composition, basic chemical parameters and industrial importance. The first type mineralization is localized within the marginal zone and have the greatest industrial potential. The second type mineralization developed within the main zone.

Mineral composition of PGE mineralization presents of 22 mineral species, dominated by sulphides, in subordinate quantities are bismutotellurides and arsenides.

Volchetundra massif, marginal zone, main zone, norites, leucogabbro, platinoids, minerals of platinum group

В течение последних 10–15 лет в пределах Кольского региона были выявлены крупные месторождения мирового уровня малосульфидных Pt-Pd руд. Большинство из них приурочено к палеопротерозойским расслоенным базит-ультрабазитовым интрузиям Мончегорского и Федорово-Панского комплексов с возрастом около 2,50 млрд лет. Эти интрузивные комплексы являются индикаторами начального этапа развития Имандра-Варзугской рифтогенной структуры, залегая, соответственно, в основании ее западного замыкания и северного борта (рис. 1А). Все выявленные месторождения малосульфидных Pt-Pd руд делятся на два основных типа: стратиформные, «рифовые» гармоничные с расслоенностью массивов и «базальные», локализованные в пределах краевых частей интрузий [3].

Помимо малосульфидных месторождений, связанных с расслоенными интрузиями, был выявлен новый тип таких месторождений, ассоциирующий с Волчьетундровским массивом автономных габбро-анортозитов. Металлогеническая специализация комплексов автономных анортозитов общеизвестна и характеризуется наличием в связи с ними железотитанового оруденения. Промышленных масштабов подобное оруденение достигает в неорархейских интрузиях автономных анортозитов Кольского региона (массивы Цагинский, Ачинский и Магазин-Мусюр). Иногда в ассоциации с железотитановым оруденением присутствует сульфидная минерализация, преимущественно пирротинового состава (Цагинский массив) [10].

Однако промышленных сульфидных медно-никелевых месторождений, приуроченных к анортозитовым интрузиям, не установлено [11]. До недавнего времени также не было обнаружено и проявлений платиноидов, связанных с автономными анортозитами, соответственно, эти комплексы не рассматривались в качестве перспективных на выявление оруденения подобного типа. Однако за последнее время в некоторых массивах автономных анортозитов были выявлены повышенные концентрации платиноидов, в частности, в массивах Алдано-Становой (Каларский комплекс) и Джугджуро-Становой областей (Джугджурский комплекс): Куронаахском и Лантарском, соответственно, [2, 4, 6]. Волчьетундровский массив является первым примером обнаружения малосульфидного платинометалльного оруденения в промышленном масштабе в интрузии автономных анортозитов палеопротерозойского возраста.

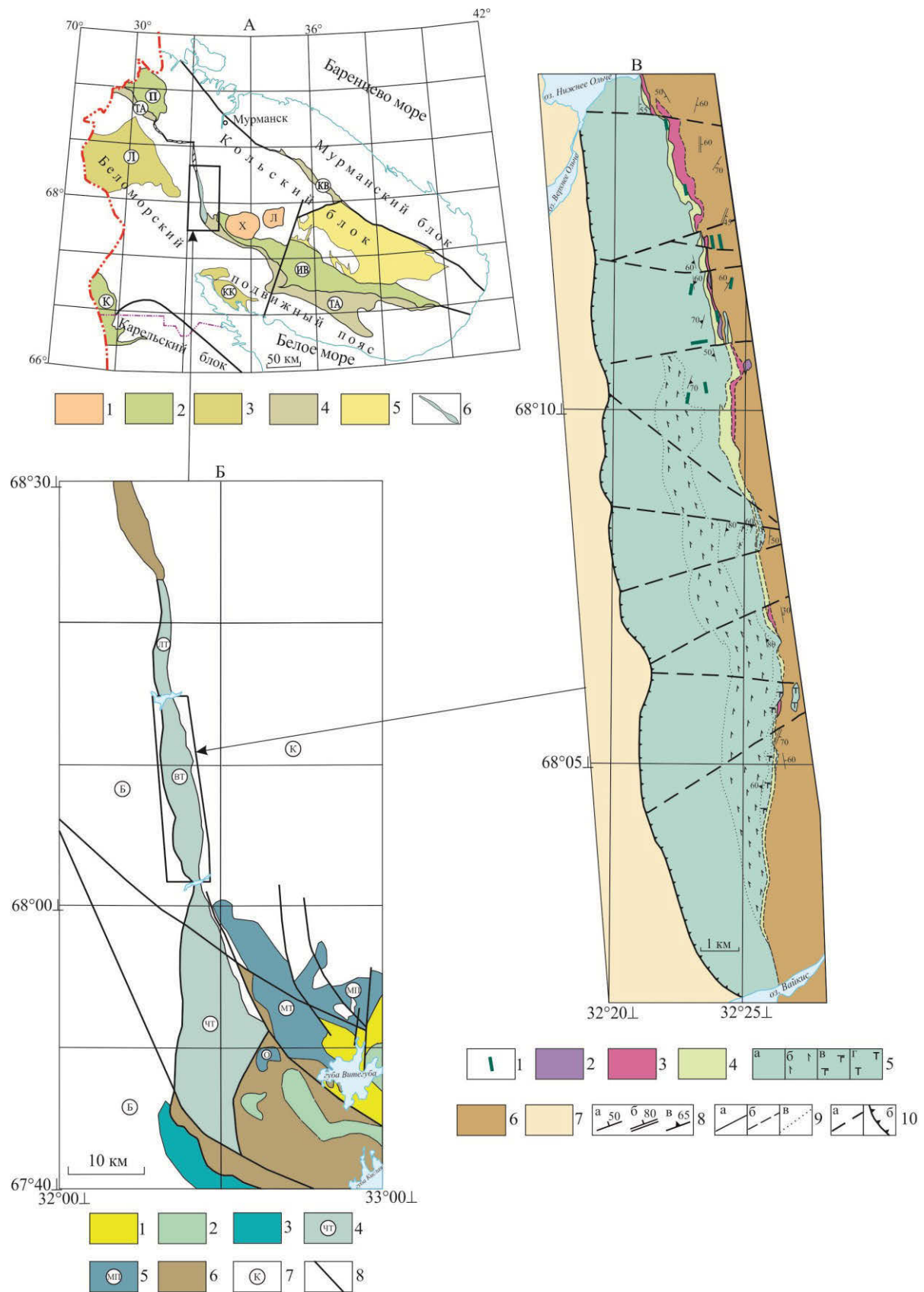


Рис. 1 А. Геологическая схема Кольского полуострова.

1 – палеозойские интрузии щелочных нефелиновых сиенитов: Хибинский (Х), Ловозерский (Л); 2 – палеопротерозойские рифтогенные структуры: Печенгская (П), Имандра-Варзугская (ИВ), Куолярвинская (К); 3 – палеопротерозойские гранулитовые пояса: Лапландский (Л), Кандалакшко-Колвицкий (КК); 4 – позднеархейские зеленокаменные пояса: Колмозеро-Воронинский (КВ), Терско-Аллареченский (ТА); 5 – Кейвская структура; 6 – комплекс автономных габбро-анортозитов Главного Хребта.

Рис. 1 Б. Геологическая схема зоны сочленения Кольского блока и Беломорского подвижного пояса.

1 – вулканогенно-осадочные образования палеопротерозойской Имандра-Варзугской рифтогенной структуры; 2–5 – палеопротерозойские интрузивные комплексы: 2 – Имандровский расслоенных интрузий; 3 – габброидов Нярк-тундры; 4 – автономных габбро-анортозитов Главного Хребта Чуна- (ЧТ), Волчьих-(ВТ), Лосевых и Медвежьих-(ЛТ) тундр; 5 – Мончегорский расслоенных интрузий: Мончегорский плутон (МП), Мончетундровский массив (МТ), Островской массив (О); 6 – вулканогенные образования позднеархейского Терско-Аллареченского зеленокаменного пояса, 7 – ранне-позднеархейские метаморфические и ультра-метаморфические образования Кольского блока (К) и Беломорского подвижного пояса (Б); 8 – разрывные нарушения.

Рис. 1 В. Схема геологического строения Волчьетундровского габбро-анортозитового массива.

1 – долериты, габбро-долериты; 2 – клинопироксениты, плагиоклаз- и оливинсодержащие; 3 – гибридные гиперстеновые кварцевые диориты; 4–5 – породы Волчьетундровского массива: 4 – лейконориты, плагиоортопироксениты, габбро-нориты краевой зоны; 5 – круп-нозернистые габбро и габбро-нориты (а), анортозиты (б), троктолиты (в), среднезернистые габбро-нориты (г) главной зоны; 6 – образования Кольского блока: основные и кислые гра-нулиты, амфиболиты, плагиогнейсы гранат-биотитовые, кварциты магнетитовые, гнейсо-диориты и эндербиты; 7 – образования Беломорского подвижного пояса: гнейсы био-титовые, амфиболиты, гнейсо-плагиограниты и гнейсо-диориты; 8 – элементы залегания: гнейсовидности и сланцеватости (а), полосчатости (б), трахитоидности (в); 9 – геологические границы: достоверные (а), предполагаемые (б), фациальные (в); 10 – разрывные нарушения: неустановленной морфологии (а), надвиги (б).

Волчьетундровский массив слагает среднюю часть комплекса автономных габбро-анортозитов Главного Хребта, включающего массивы Чуна-Волчьих-Лосевых и Медвежьих тундр, вытянутых в субмеридиональном направлении (рис. 1Б). Их общая протяженность составляет 75 км при ширине от 1 до 10 км. Массивы маркируют границу между основными геологическими структурами региона: Кольским блоком на востоке и Беломорским подвижным поясом на западе. Собственно Волчьетундровский массив имеет протяженность 24 км при ширине от 1 до 4 км (рис. 1В). Западный контакт массива с породами Беломорского подвижного пояса тектонический, что выражается в образовании в эндоконтакте зоны полосчатых бластомилонитов по габброидам мощностью до 200 м. Восточный контакт – интрузивный, зачастую с образованием в экзоконтакте гибридных гиперстеновых диоритов в результате термального воздействия основной магмы на основные гранулиты Кольского блока. Во внутреннем строении Волчьетундровского массива выделяются две основные зоны: краевая и главная. Краевая эндоконтактовая зона мощностью от 20 м в южной части массива до 400 м в средней протягивается практически вдоль всего его восточного контакта и имеет восточное падение под углами 55–85° (рис. 1В, 2). В ее строении принимают участие, главным образом, среднезернистые мезо-лейкократовые нориты и плагиоклазиты, реже габбро-нориты и ортопироксениты. С породами краевой зоны ассоциирует вкрапленная и гнездовая сульфидная минерализация, зачастую сопровождаемая малосульфидным платинометальным оруденением, поэтому она рассматривается в качестве рудоперспективной. Главная зона Волчьетундровского массива слагает его основной объем и образована несколькими породными разновидностями. Преобладающим развитием в ее составе пользуются крупнозернистые лейкократовые габбро и габбро-нориты. В осевой части массива развита полоса шириной около 1 км средне-

крупнозернистых анортозитов (рис. 1В). Среди лейкогаббро и анортозитов в резко подчиненном количестве встречаются прослои и линзы троктолитов и пегматоидных габбро-норитов мощностью от первых метров до 100–150 м.

Возраст Волчъетундровского массива U-Pb методом по циркону определен для лейконоритов краевой зоны в 2473 ± 7 млн лет и $2463 \pm 2,4$ млн лет, а для лейкогаббро главной зоны в 2467 ± 8 млн лет [8]. Полученные возраста рассматриваются как время кристаллизации пород массива, происходившее в достаточно узком диапазоне времени, не более 10 млн. лет. Ранее U-Pb методом по циркону был определен возраст крупнозернистых лейкократовых габбро-норитов Чунатундровского массива в 2467 ± 7 млн лет [1, 5]. Сходство возрастов Волчъетундровского и Чунатундровского массивов служит доказательством возрастного единства всего комплекса Главного хребта (Чуна-Волчьих-Лосевых и Медвежьих тундр) в целом.

В результате проведения поисковых работ на Волчъетундровском массиве были выявлены два проявления малосульфидного платинометального оруденения (оз. Ольче и г. Юкспор). Оба проявления находятся в сходной геологической ситуации и включают площадь восточной краевой зоны массива с примыкающим к ней фрагментом главной зоны (рис. 2А). Платинометальное оруденение локализовано в нескольких рудных горизонтах, которые выделяются только по результатам пробирного анализа керновых и бороздовых проб при бортовом содержании $Pt+Pd \geq 0,5$ г/т. Горизонты имеют преимущественно пластовую форму мощностью от 0,5 до 3 м с отдельными раздувами мощностью до 45 м (рис. 2Б). Существует вполне определенная закономерность в локализации рудных горизонтов. Большей частью они приурочены к контакту краевой зоны с породами главной или вблизи него, реже присутствуют в средней части краевой зоны. Иногда отдельные рудные горизонты расщепляются на более мелкие прослои и выклиниваются. Внутреннее строение наиболее мощных из них характеризуется неоднородным распределением полезных компонентов. Характерной особенностью рудных тел в породах главной зоны является их незначительная протяженность, варьирующая мощность от 2 до 7 м (рис. 2Б) и переменное содержание в них полезных компонентов ($Pt+Pd$ от 1 до 6 г/т). При этом, по мере удаления от контакта с краевой зоной возрастает содержание Pt и отношение Pd/Pt меняется от близкого к 1 до 0,8.

Таким образом, в целом платинометальное оруденение Волчъетундровского габбро-анортозитового массива отчетливо делится на два типа, которые существенно различаются условиями локализации, минеральным составом, основными химическими параметрами (табл. 1) и промышленной значимостью. К первому типу относится оруденение, имеющее наибольший промышленный потенциал и локализованное в пределах краевой зоны. Ко второму типу принадлежит платинометальное оруденение, развитое в пределах главной зоны. Самостоятельного промышленного значения данный тип оруденения не имеет и может быть использован только в совокупности с оруденением краевой зоны.

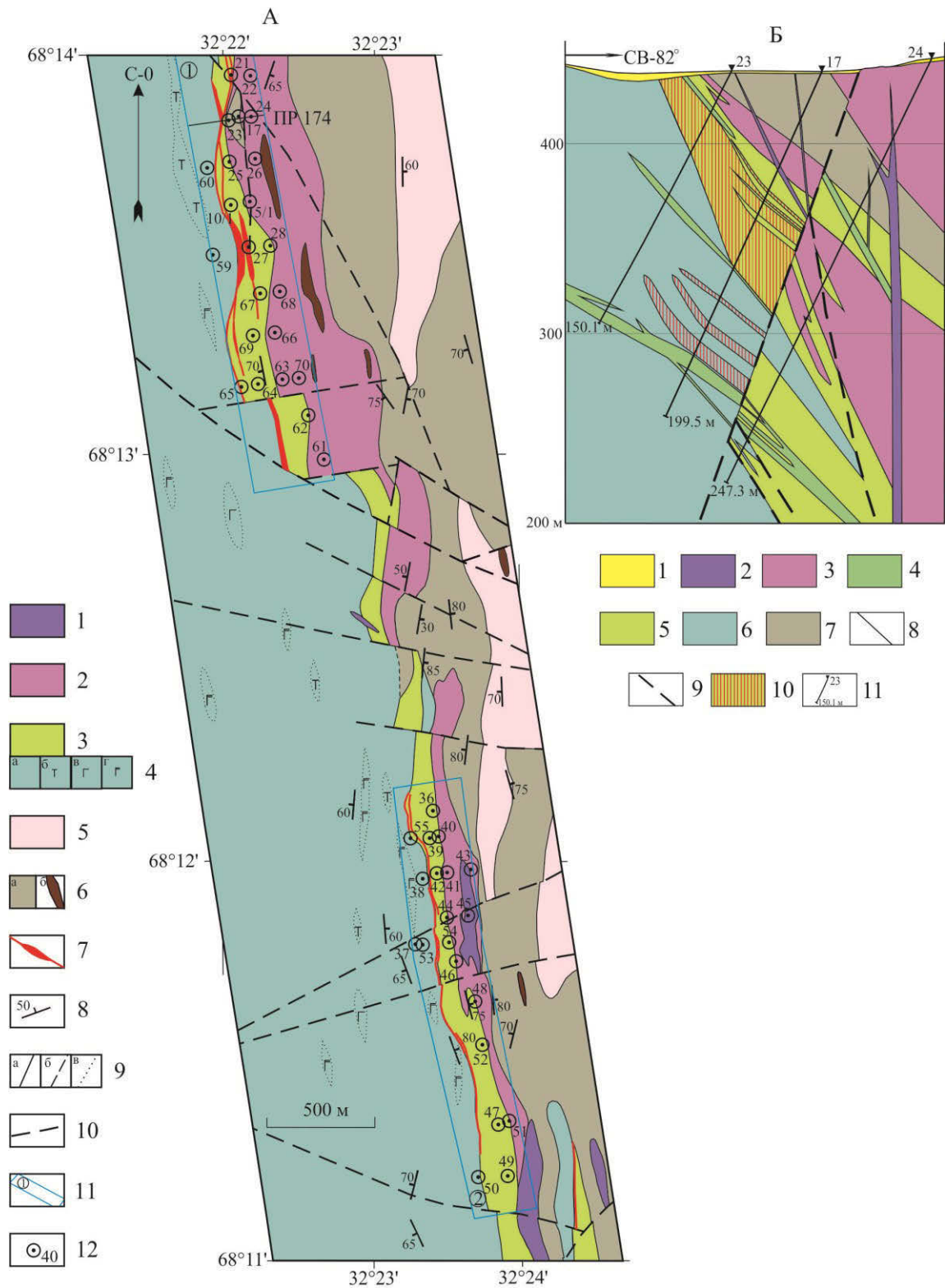


Рис. 2. А. Схема геологического строения северной части Волчъетундровского массива.

1 – клинопироксениты плагиоклаз- и оливин-содержащие; 2 – гибридные кварцевые гиперстенные диориты; 3-4 – породы Волчъетундровского массива: 3 – краевая зона: лейконориты, габбро-нориты, плагиоклазиты, 4 – главная зона: лейкогаббро (а), лейкогаббро-нориты (б), пегматоидные габбро (в), троктолиты (г); 5-6 – породы Кольского блока: 5 – диориты и кварцевые диориты гиперстенные, 6 – основные гранулиты, амфиболиты, плагиосланцы амфибол-биотитовые (а), кварциты магнетитовые и гиперстен-магнетитовые (б); 7 – зоны платинометального оруденения; 8 – элементы залегания гнейсовидности, сланцеватости и полосчатости; 9 – геологические границы: достоверные (а), предполагаемые (б), фациальные (в); 10 – разрывные нарушения; 11 – участки проведения поисковых работ: (1) оз. Ольче и (2) г. Юкспор; 12 – скважины и их номера.

Рис. 2. Б. Геологический разрез по профилю 174.

1 – морена; 2 – дайки керсутитовых оливин-содержащих вебстеритов и кортландитов; 3 – габбро пижонитовое, такситовое; 4 – гибридные кварцевые гиперстеновые диориты; 5-6 – породы Волчьетундровского массива: 5 –краевая зона: нориты лейко-мезократовые и такситовые, ортопироксениты, габбро-нориты, плагиоклазиты, 6 – главная зона: габбро и габбро-нориты лейко-мезократовые, троктолиты, ортоамфиболиты; 7 – основные гранулиты; 8 – геологические границы; 9 – разрывные нарушения; 10 – зоны платинометального оруденения с содержаниями Pt+Pd \geq 0,5 г/т; 11 – скважины их номера и глубина.

Таблица 1. Вариации содержаний компонентов и их средних параметров в платинометальном оруденении краевой и главной зон Волчьетундровского массива

Компоненты, параметры	Зоны	
	краевая	главная
Au, г/т	0,01–0,70	0,01–0,50
Pt, г/т	0,08–3,75	0,13–6,34
Pd, г/т	0,27–9,35	0,04–7,93
Pt+Pd, г/т	1,37	1,61
Pd/Pt	3,1	1,3
Cu, мас. %	0,007–0,25	0,004–0,40
Ni, мас. %	0,005–0,27	0,001–0,067
S, мас. %	0,009–1,60	0,005–0,61
Cu/Ni	1,15	3,84

Платинометальное оруденение пространственно и генетически связано с сульфидной минерализацией, представленной первичной ассоциацией пентландит-пирит-халькопирит-пирротин, в то же время, обратная зависимость проявлена не всегда. Содержание сульфидов колеблется от редких зерен до 2–5 % в краевой зоне и до 1–3 % в главной и по этому признаку оруденение относится к малосульфидному типу. Доля вышеуказанных минералов в общей сульфидной массе обычно составляет 98–100 %. В целом видовой состав сульфидов краевой и главной зон массива одинаков, однако, соотношения их между собой в пересчете на 100 % сульфидов заметно варьируют. Так, в породах краевой зоны доля пирротина является максимально высокой (58 %), количество халькопирита составляет 24 %, пентландита – 14 % и пирита – 4 %. В породах главной зоны в балансе сульфидных минералов резко преобладает халькопирит (53 %), содержания пирротина и пирита достигают 21 и 20 %, соответственно, а пентландит (6 %) занимает подчиненное положение.

В составе платинометального оруденения было обнаружено 22 минерала платиновой группы (МПГ) [9]. Основными концентраторами платины являются куперит, брэггит, сперрилит и мончеит, а палладия – висоцкит, котульскит, меренскиит и брэггит, реже – палладоарсенид и арсенопалладинид. Среди МПГ преобладают сульфиды (куперит-брэггит-высоцкит), висмутотеллуриды (мончеит-котульскит-меренскиит) и арсениды (сперрилит, арсенопалладинит) (табл. 2). Сульфиды Pt и Pd наиболее распространены, присутствуя в количестве от 21 до 65 % МПГ в краевой зоне и от 66 до 74 % – в главной. Содержание висмутотеллуридов ряда мончеит-котульскит-меренскиит более изменчиво, чем сульфидов.

В краевой зоне они встречаются в широком диапазоне (от 5 до 65 % МПГ), а в главной зоне обнаружены только в одной пробе в количестве 15 % МПГ [9]. Остальные минеральные виды, такие как сульфоарсениды, теллуриды и станниды в повышенных количествах встречаются в главной зоне и весьма редки – в краевой. В число постоянно присутствующих минеральных фаз входит самородное золото и электрум.

Таблица 2. Распределение платинометалльной минерализации в породах краевой и главной зон Волчъетундровского массива

Минералы	краевая зона					главная зона	
	1701	1702	2301	2701	2702	1703	4001
Куперит (Pt,Pd)S	+++	•	+++	+++	++	•	+++
Брэггит (Pd,Pt,Ni)S	•	••	•	••	•••	••	•••
Высоцкит (Pd,Ni)S	++	+++	+++	++	++	+++	+++
Лаурит RuS ₂						++	
Эрлихманит OsS ₂						++	
Мончеит Pt(Te,Bi) ₂		+++	••	•	•		++
Меренскиит (Pd,Pt)(Te,Bi) ₂	+	+	•	+++	•		
Котульскит Pd(Te,Bi)	++	•		•	•		•
Сперрилит PtAs ₂	•••	++	++	++	++	+++	+
Арсенопалладинит Pd ₅ (As,Sb) ₂	++	++	++			++	
Палладоарсениит Pd ₂ As						+++	
Атенеит (Pd,Hg) ₃ As						++	
Платарсит PtAsS						++	
Холлингвортит (Rh,Pt,Pd)AsS	+					++	
Теларгпалит (Pd,Ag) ₃ Te		+					
Сопчеит Pd ₄ Ag ₃ Te ₄	+						
Кейтконнит Pd ₃ Te							+++
Мелонит Ni,Ag,Pd)Te ₂	+						
Паоловит Pd ₂ Sn							+
Pt-Fe сплав							++
Самородное золото	++	++	++	+++	++		+++
Электрум (Au,Ag)		++		+		+	

Примечание: Содержания минералов: + до 1 %, ++ от 1 до 5 %, +++ от 5 до 10 %, • от 10 до 30 %, •• от 30 до 50 %, ••• более 50 %.

Данные по химическому составу МПГ несут важную информацию об условиях образования платинометалльного оруденения, которые, наряду с температурой

кристаллизации пород Волчъетундровского массива, создают предпосылки для оценки условий образования его рудно-магматической системы. Ранее на основании изучения состава сосуществующих пироксенов были получены температуры кристаллизации пород краевой зоны Волчъетундровского массива в 1170-1005 °С и главной – 1100–940 °С, при давлении в 9 кбар [7]. Наиболее распространенные МПГ (куперит, брэггит и высокоцит) кристаллизовались в интервале 900-700 °С, т. е. в конце собственно магматической–начале позднемагматической стадий. Совместное нахождение в составе платинометалльного оруденения висмутотеллуридов (котульскита и меренскиита), согласно экспериментальным данным по изучению системы Pd–Bi–Te [12], указывает на температуры их кристаллизации от 710 до 575 °С. Таким образом, по мере дальнейшего снижения температуры, на позднемагматической стадии, вероятно, происходило образование минералов группы висмутотеллуридов и, возможно, арсенидов, а завершалось рудообразование выделением теллуридов, сульфоарсенидов, самородного золота и электрума на постмагматической или гидротермальной стадии. Вероятно, их образование происходило при температуре 400-450 °С и ниже. Учитывая незначительную долю этих минералов в общем объеме рудной составляющей, эта стадия была проявлена слабо и не привела к существенному перераспределению оруденения.

Выявление малосульфидного платинометалльного оруденения, связанного с массивом автономных анортозитов, дает основание рассматривать комплекс Главного Хребта, а также гигантские интрузии автономных анортозитов сходного внутреннего строения (например, Алдано-Становой и Джугджуро-Становой областей) в качестве объектов, перспективных на обнаружение крупных месторождений малосульфидных собственно платинометалльных руд.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ 13-05-12055.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баянова Т.Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. СПб.: Наука, 2004. 174 с.
2. Бучко И.В. Этапы ультрамафит-мафитового и габбро-анортозитового магматизма юго-восточного обрамления Северо-Азиатского кратона. Автореферат дисс. д-ра геол.-мин. наук. Владивосток: Изд-во ДВГИ ДВО РАН, 2010. 47 с.
3. Митрофанов Ф.П. Новые виды минерального сырья Кольской провинции: открытия и перспективы // Материалы конференции «Научное наследие акад. В.Н. Смирнова». М.: ИГЕМ РАН, 2005. С. 39–53.
4. Приходько В.С., Ситников Н.В. Перспективы платиноносности Лантарского габбро-анортозитового массива // Петрография на рубеже XXI века: итоги и перспективы. Матер. второго Всероссийского петрографического совещания. Сыктывкар. 2000. Т. III. С. 290–291.
5. Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района: петрология, оруденение, изотопия, глубинное строение / Отв. ред. Ф.П. Митрофанов, В.Ф. Смолькин. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. Часть 2. 177 с.
6. Соляник А.Н., Октябрьский Р.А., Соляник В.А. Рудная минерализация в петрогенезисе анортозитовых массивов Джугджуро-Становой области // Петрография на

рубеже XXI века: итоги и перспективы. Материалы второго Всероссийского петрографического совещания. Сыктывкар. 2000. Т. III. С. 232–235.

7. Чащин В.В. Пироксены Мончетундровского перидотит-пироксенит-лейкогаббрового и Волчьетундровского габбро-анортозитового массивов // Записки ВМО, 1999. № 3. С. 101–111.

8. Чащин В.В., Баянова Т.Б., Елизарова И.Р., Серов П.А. Волчьетундровский массив комплекса автономных анортозитов главного хребта, Кольский полуостров: геологические, петрогеохимические и изотопно-геохронологические исследования (Кольский полуостров, Россия) // Петрология, 2012. Т. 20. № 5. С. 1–26.

9. Чащин В.В., Петров С.В. Малосульфидные платиновые руды Волчьетундровского массива габбро-анортозитов (Кольский полуостров, Россия) // Геология рудных месторождений, 2013. Т. 55. № 5. С. 415–442.

10. Юдин Б.А. Габбро-лабрадоритовая формация Кольского полуострова. Л.: Наука, 1980. 169 с.

11. Ashwal L.D. Anorthosites. Springer-Verlag. 1993. 422 p.

12. Hoffman E., MacLean W.H. Phase relations of michenerite and merenskyite in the Pd-Bi-Te system // Economic Geology, 1976. V. 71. P. 1461–1468.