

УДК 553.49(470.22)

КОМПЛЕКСНЫЕ ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРЕЛИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ОСВОЕНИЯ

А. И. ГОЛУБЕВ

Институт геологии Карельского научного центра РАН

На территории Карелии за последние годы выделен ряд месторождений и рудопроявлений металлов платиновой группы (МПГ), что позволило считать ее новой перспективной платиноносной провинцией на Северо-Западе России.

Наиболее перспективными типами платиноидного оруденения в настоящее время являются месторождения малосульфидного типа в расслоенных интрузиях и массивах (Бураковский тип, Олангская группа интрузий Северной Карелии), в которых содержание платиноидов колеблется от 1,52 г/т до 20 г/т, и находятся они в сульфидах. В данном типе оруденения палладий преобладает над платиной. Платиносодержащая хромитовая рудная формация выделена в Бураковском массиве и приурочена к Главному хромитовому горизонту. Содержания платиноидов достигают 1,00–3,00 г/т и характеризуются платино-рутений-осмий-иридиевой специализацией. Платиносодержащая титаномагнетитовая формация с ванадием приурочена к титаномагнетитовым месторождениям Пудожгора и Койкары-Святнаволок. Платиноидное и золотое оруденение связано с сульфидами в титаномагнетитовых рудах. Содержания их достигают 1,0–2,0 г/т. Платино-полиметалльная рудная формация в углеродистых сланцах и их метасоматитах определяется приуроченностью к ней месторождений комплексных уран-ванадиевых руд с благороднометалльной специализацией. Кроме того, здесь же присутствует стратиформный сульфидный тип так же с благороднометалльной (платина и золото) минерализацией.

В настоящее время на Бураковском массиве и расслоенных интрузиях Северной Карелии ведутся прогнозно-поисковые и поисково-оценочные работы на платину и золото. По Пудожгорскому месторождению проведена комплексная экономическая оценка. Освоение перспективных комплексных месторождений с платинометалльной минерализацией, несомненно, будет важным экономическим вкладом в развитие не только горнопромышленного комплекса Карелии, но и Северо-Западного региона в целом.

A. I. GOLUBEV. KARELIAN COMPLEX PGM DEPOSITS AND THEIR MINING PROSPECTS

With the discovery of some PGM deposits and occurrences in Karelia in the past few years, Karelia has become a new PGM province in Northwest Russia.

At the present time the most prospective types of platinoid mineralization are low-sulphide deposits in layered intrusions and massives (Burakovian type, Olanga group of intrusions in North Karelia) that contain 1.52 to 20 g/t of platinoids and occur in sulphides. In this type of mineralization palladium dominates over platinum. A platiniferous chromite ore formation, restricted to the main chromitic horizon, has been revealed in the Burakovian massif. Its platinoid content is as high as 1.00–3.00 g/t and platinum-rutenium-osmium-iridium specialization is characteristic. A platiniferous titanomagnetite formation with vanadium is confined to the Pudozhgora and Koikary-Svyatnavolok titanomagnetite deposits. Platinoid and gold mineralization is associated with sulphides in titanomagnetite ores. Their content is as high as 1.0–2.0 g/t. A platinum-base metal ore formation in carbonaceous shales and their metasomatic rocks depends on whether complex uranium-vanadium ore deposits with noble-metal specialization are restricted to it. A stratiform sulphide type, which also hosts noble-metal (platinum and gold) mineralization, is present there as well.

At the present time forecasting-and-prospecting and prospecting-and-appraisal for platinum and gold are being conducted in the Burakovian massif and in layered intru-

sions of North Karelia. Complex economic appraisal of the Pudozhgora deposit is now in progress. The mining of prospective complex deposits with PGM mineralization will undoubtedly contribute to the development of the mining industry not only in Karelia but in the whole Northwestern region.

Ключевые слова: месторождения, минерагения, благороднометалльное оруденение, рудный район, формация, рудогенез, минеральная ассоциация, прогнозная оценка.

На территории Карелии за последние 10 лет выявлен ряд месторождений и рудопроявлений металлов платиновой группы (МПГ), что позволило считать ее новой перспективной платиноносной провинцией на Северо-Западе России (Металлогения Карелии, 1999; Филиппов и др., 1999; Трофимов и др., 2004). Анализ существующего материала по платиноидным объектам Карелии (ГУФП «Невскгеология», ВСЕГЕИ, ИГ КарНЦ РАН, Карельской ГПЭ, Северной экспедиции, ГУП «Минерал» и др.) дает основание для их рудно-формационной типизации. При разработке классификации (табл. 1) и составлении «Регистрационной карты платиноносности Карелии» М 1 : 1 000 000, а также Атласа платиноносности Карелии М 1 : 5 000 000 с кадастром рудопроявлений по заданию Комитета Природных ресурсов по Республике Карелия взят за основу рудно-формационный блок легенды к «Карте платиноносности России» из обобщающих работ Д. А. Додина (Додин и др., 1998, 2000, 2001).

Приведем краткую характеристику наиболее перспективных типов платиноидного оруденения Карельского региона (Голубев и др., 2004). Полученные в последние годы новые материалы по бурению Бураковской интрузии в связи с оценкой ее потенциальной рудоносности позволяют более оптимистически оценивать ее рудный потенциал.

Существовавшее ранее мнение о том, что Аганозерский и Шалозерский блоки в Бураковской интрузии являются самостоятельными интрузиями, сформировавшимися из разных магматических источников, не нашли подтверждения при изучении их зоны сочленения (Лавров и др., 2004, 2006). Работами ОАО «Карелмет» и Карельской экспедиции установлено, что Аганозерский и Шалозерский блоки разделены зоной СЗ разломов и оперяющими ее субмеридиональными нарушениями, причем Шалозерский блок сброшен с амплитудой вертикального перемещения не более чем на 50–100 м. Эти данные подтверждены результатами бурения, геофизическими данными, сопоставлением разрезов пироксенитовой зоны и Главного хромитового горизонта (ГХГ) в южной части Аганозерского и северной – Шалозерского блоков (рис. 1). Горизонты сходны по составу, строению и положению в разрезе и представляют

единый Главный хромитовый горизонт интрузива, прослеженный более чем на 15 км из Аганозерского блока в Шалозерский. Более того, однотипная стратификация разрезов в блоках (табл. 2) и зоне их сочленения свидетельствует о единстве интрузива, которое необоснованно отрицается в публикациях сотрудниками ИГЕМ РАН (г. Москва) и ИГГД РАН (г. С.-Петербург).

Установлено, что в габброноритовой зоне выделены две подзоны: полосчатая и верхняя, резко отличающиеся друг от друга своим внутренним строением и составом слагающих их пород. В полосчатой подзоне выявлен второй маркирующий горизонт основных-ультраосновных пород (перидотиты и оливковые разновидности пироксенитов, габброноритов и норитов) переменной мощности, который картируется как в Шалозерском, так и в Аганозерском блоке, что еще раз подтверждает их единство, а это в свою очередь увеличивает в несколько раз перспективы рудоносности интрузии в целом.

В интрузиве присутствуют все типичные для расслоенных плутонов рудные ассоциации: хромовая, благороднометалльная, железо-титан-ванадиевая, медно-никелевая. Проведенный минерагенический анализ генетических типов оруденения Бураковской интрузии, а также данные по внутреннему строению, морфологии и условиям формирования позволяют ставить ее в один ряд с такими всемирно известными расслоенными интрузиями, как Бушвельд, Стиллиутер, Скергаард и др., а также с расслоенными интрузиями Финляндии и Кольского полуострова (Alapieti, 1982; Alapieti, Lahtinen, 1989).

Хромовые руды кроме месторождения их в Аганозерском блоке прослежены более чем на 20 км в Шалозерском блоке на одном и том же уровне, а именно, в основании пироксенитовой зоны, что значительно увеличивает их промышленную значимость. Благороднометалльная минерализация малосульфидного типа установлена в разрезе расслоенной серии на нескольких уровнях. Платинометалльный горизонт «А» залегает в породах ГХГ, а иногда непосредственно на контакте с ним. Второй горизонт благороднометалльной минерализации выделяется в верхней части разреза полосчатой подзоны габброноритовой зоны и приурочен к

Таблица 1. Рудно-формационные типы основных платиноносных объектов Карелии

Рудно-формационные типы		Магматические и геологические формации	Объекты, месторождения	Возраст формаций, оруденения, млн лет
Подгруппа	Тип, подтип, ассоциации ЭПГ			
1. Класс эндогенных месторождений				
1.1. Собственно-магматическая группа				
Малосульфидная платино-металлическая	Платино-палладиевый	Ритмично-расслоенные базит-гипербазитовые комплексы	Бураковский Луккулайсваара Кивакка Ципринга Кивач-Сямозеро Кааламский	U-Pb 2449 ± 1,5 Sm-Nd 2340 ± 31 U-Pb 2442,1 ± 1,9 U-Pb 2444 ± 1 Sm-Nd 2420 ± 23 U-Pb 2442,3 ± 1,7 Sm-Nd 2430 ± 26 Sm-Nd 2414 ± 85 U-Pb 1883,3 ± 5,2
		Дифференцированные базит-гипербазитовые комплексы		
Платиносодержащая хромитовая	Платино-палладиевый с Ru-Os	Ритмично-расслоенный базит-гипербазитовый комплекс	Бураковский (ГХГ)	
	Платино-палладиевая с Au	Дифференцированная гипербазитовая	Рыбозерская структура	Верхний архей
Платиносодержащая титано-магнетитовая с ванадием	Платино-палладиевый с Au	Трапповая толеит-базальтовая, базитовая субформация (габбро-родолеритовая)	Пудожгорское Тубозерское Койкарско-Святнаволоцкое	U-Pb 2050 ± 70 Sm-Nd 2186 ± 68
		Щелочно-ультраосновная	Тикше-Елетьозерский комплекс, ультраосновная серия с рудными титано-магнетитовыми дифференциатами в ритмах	1900–1800
	Платино-палладиевый с Au	Дифференцированная базит-гипербазитовая (габбро-анортозитовая) Габбро-пироксенитовая	Палаярвинский массив Травяная губа Хаутаваарская структура Рыб-оя Виетуккалампи	Нижний протерозой
1.2. Постмагматическая группа				
Сульфидная платиноидно-медно-никелевая	Платино-палладиевый с Ir, Ru, Rh	Дифференцированная гипербазитовая	Кумбуксинский массив (Лебяжинское месторождение) Вожминский массив (Восточно-Вожминское месторождение)	Верхний архей
		Гипербазитовая недифференцированная или слабо дифференцированная (коматиит-базальтовая)	Хаутаваарская структура (скв. 51, 53, 115)	Верхний архей
	Дифференцированная гипербазитовая (базитовая)	Рыбозерская структура (скв. 7)	Верхний архей	
Платиноидно-содержащая медно-молибден-порфировая	Re – ¹⁸⁷ Os радиогенный в молибдените Лобашский тип	Габбро-диорит-гранодиоритовая многофазная. Интрузии гранит-порфиров	Лобаш Ялонваара Пяваара и др.	U-Pb 2807,7 ± 1,4 Sm-Nd 3107–2928 Re – Os 2772 ± 11 Re – Os 2741 ± 11
2. Класс полигенных проявлений				
Платино-полиметаллическая в углеродистых сланцах и их метасоматитах	Комплексный Cu-U -Mo-V платино-палладиевый с Au (Онежский тип, Падминский подтип)	Ураноносные ванадиевые альбит-слюдисто-карбонатные метасоматиты зон СРД в высокоуглеродистых вулканогенно-осадочных толщах заонежского горизонта Онежской рифтогенной конседиментационной интракратонной впадины	Средняя Падма Верхняя Падма Весеннее Царевское Космозеро Южное Космозеро Великая Губа и др.	1724 ± 42
	Платино-палладиевый с Ir, Rh, Os, Au (Онежский тип, Уницкий подтип)	Стратиформные конкреционные углеродсульфидные горизонты в средней подсвите заонежского горизонта	Уницкий	

пачке контрастного переслаивания различных по составу пород от лейкогабброноритов до вебстеритов. В Аганозерском блоке это существенно платинометалльная специализация, а в Шалозерском – золото-платинометалльная. Золото-платинометалльный тип зоны «В» выделяется в нижней части разреза зоны пижонитовых габброноритов и изучен в настоящее время только в Шалозерском блоке. Широкое распространение пород пижонитовых габброноритов в Шалозерском и Бураковском блоках позволяет предполагать площадное распространение зоны «В» и перспективы обнаружения в ней золота и платиноидов с промышлен-

ными содержаниями. Прогнозная оценка ванадиеносных титаномагнетитовых габброноритов в зоне феррогабброноритов, широко распространенных в Шалозерском и Бураковском блоках, представляет большой интерес на обнаружение в них и благороднометалльной минерализации в сульфидной фракции (Лавров и др., 2006).

Наибольшим прогнозно-промышленным потенциалом на данном этапе изученности обладают хром и благородные металлы. Имеются все предпосылки для открытия новых месторождений и создания на Северо-Западе России минерально-сырьевой базы хрома. Также имеются

Таблица 2. Схема расчленения расслоенной серии Бураковского интрузива

Зона	Мощность, м	Подзона	Породы
МГЗ	600	МГЗ-2 МГЗ-1	Ti-Mt феррогаббродiorиты Ti-Mt габбродiorиты
ГЗ	1250	ГЗ-2 ГЗ-1	Гиперстеновые (пижонитинвертированные) Габбро
ГНЗ	650		Габбронориты, прослои пироксенитов, анортозитов, лейкогабброноритов
ПЗ	400	ПЗ-4 ПЗ-3 ПЗ-2 ПЗ-1	Полосчатая верхняя: анортозиты, вебстериты, габбронориты Вебстеритовая: перидотиты, бронзититы, вебстериты Полосчатая нижняя: анортозиты, габбронориты, вебстериты Клинопироксенитовая: перидотиты, вебстериты, клинопироксениты
УЗ	3000	ПП (0,4 км) ДП (~2,6 км)	Перидотитовая: пойкилитовые перидотиты, серпентиниты, хромититы Дунитовая: дуниты, серпентиниты

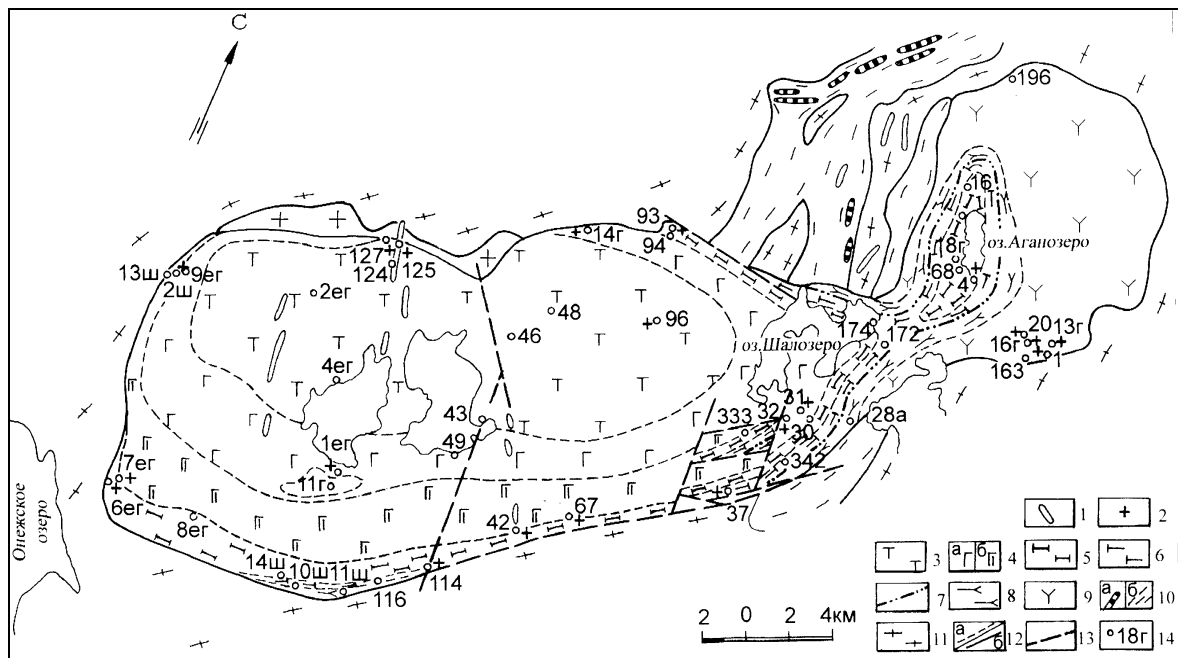


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Бураковского интрузива (Лавров и др., 2004). Составлена с использованием материалов ГУП КГЭ (Гриневич, 2000Ф)

Ранний протерозой: 1 – габбро-долериты; 2 – гранитные жилы (вскрытые скважинами); 3–9 – зоны расслоенной серии Бураковского интрузива: 3 – магнетитовых габбродiorитов; 4 – габбро (а – верхняя, б – нижняя подзоны); 5 – габброноритовая зона; 6 – переходная зона; 7 – Главный хромитовый горизонт; 8–9 – ультрабазитовая зона (8 – перидотитовая подзона, 9 – дунитовая подзона). Архей: 10 – останцы зеленокаменного пояса: а – гипербазиты, б – метаморфизованные осадки и вулканиты. 11 – граниты, гнейсограниты, мигматиты; 12 – границы зон расслоенной серии; 13 – тектонические нарушения; 14 – скважины (ссылки в тексте)

благоприятные предпосылки для обнаружения промышленно-перспективных малосульфидных платиноносных горизонтов. Все основные рудопроявления с повышенным содержанием минералов платиновой группы локализованы на определенных интервалах переходной зоны и могут быть успешно прослежены и детально изучены на основе фактических данных геологического строения и правильного выбора методики поисков.

Малосульфидный платинометалльный тип с платино-палладиевой специализацией приурочен к ритмично-расслоенным и дифференцированным базит-гипербазитовым комплексам. Наиболее перспективными объектами являются Бураковский массив и ритмично-расслоенные интрузивы Олангской группы севера Карелии (Лукулайсваара, Кивакка, Ципринга), приуроченные к зоне глубинных разломов, внутриконтинентальной рифтогенной системы субширотного простирания. На территории Финляндии в этой же системе расположены расслоенные интрузии Койлисмаа-Кеми.

Особенностью крупных расслоенных интрузий является высокая степень дифференциации, широкий диапазон изменения состава минералов (скрытой расслоенности), резко выраженная ритмичная расслоенность, кристаллизация в камере из исходного материала – расплава состава коматиитового базальта.

В Бураковском массиве малосульфидный платинометалльный тип связан с сульфидсодержащими горизонтами пород, приуроченных к верхней части клинопироксенитовой зоны и полосчатой подзоны габброноритовой зоны (рис. 2, табл. 3). Количество сульфидов в них колеблется от 1 до 3%, и представлены они халькопиритом, пентландитом, пиритом, пирротинном. Содержание МПГ в микрорасслоенных горизонтах достигает 3 г/т в клинопироксенитовой зоне и 6 г/т в полосчатой подзоне при постоянном преобладании Pd над Pt (Ганин и др., 1995; Шарков и др., 1995; Лавров и др., 2006).

Существует прямая корреляционная зависимость между содержанием платиноидов и

Таблица 3. Средние и максимальные содержания Pt, Pd, Rh и Au в породах Бураковской интрузии по зонам, мг/т

Зона	Подзона	Кол-во анализов	Pt		Pd		Rh		Au		Сумма ЭПГ	Pt/Pd
			сред.	макс.	сред.	макс.	сред.	макс.	сред.	макс.		
МГЗ		26	6	45	14	120	1	3	10	120	21	0,43
ГЗ	ГЗ-2	14	4	37	5	35	0	0	1	9	9	0,80
	ГЗ-1	8	7	29	12	38	0	0	6	31	19	0,58
ГНЗ		30	25	100	175	600	2	18	25	320	202	0,14
ПЗ	ПЗ-4	27	29	140	58	510	1	16	19	140	88	0,50
	ПЗ-3	45	8	55	18	110	1	49	16	260	27	0,44
	ПЗ-2	76	27	330	21	460	0	16	63	3700	48	1,29
	ПЗ-1	42	15	125	12	100	0	5	48	510	27	1,25
УЗ	ГХГ, ЯС	20	48	130	36	400	7	80	14	60	91	1,33
	ПП	16	21	200	20	160	5	80	13	100	46	1,05
	ДП	8	1	11	3	14	0	0	5	53	4	
КГ, скв. 28а	Пироксенит	1	17		29		0	0	0	0	46	0,59
	Габбронорит	2	19	24	49	70	0	0	0	0	68	0,39

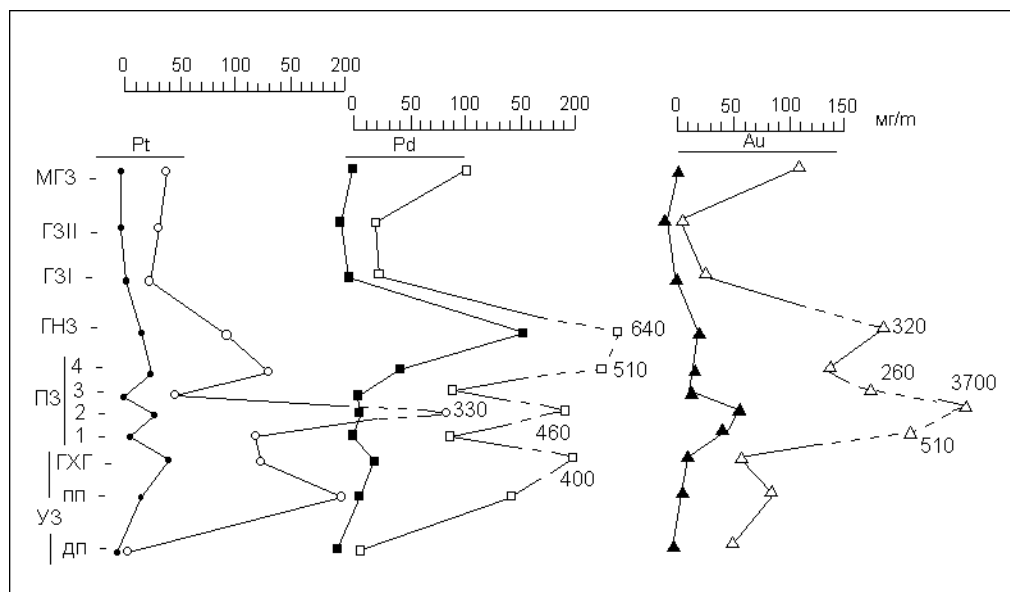


Рис. 2. Распределение средних и максимальных содержаний ЭПГ и Au по зонам Бураковского интрузива, мг/т

количеством сульфидов. Среди минеральных форм установлены теллуриды и весмутиты платины и палладия – мончеит, котульскит, меренскит, соболевскит, фрудит, сопчеит и др. (табл. 4).

Прогнозные ресурсы малосульфидного типа в Бураковском массиве оцениваются нами (Трофимов и др., 2002) на уровне 420 т (табл. 5).

Вторым перспективным объектом является Олангская группа расслоенных интрузий с ресурсами МПГ 118 т (табл. 5).

В массиве Луккулайсваара, по данным С. Ф. Ключина, выявлено семь рудных зон протяженностью до 5 км при мощности от 12 до 150 м, содержащих бедную сульфидную вкрапленность (1–2%), с которой и связано платиноидное оруденение (Ключин и др., 1994). Платиноидное оруденение приурочено к средней критической зоне норитовой серии, где установлены два парагенезиса сульфидов, содержащих платиновые минералы (Гроховская и др., 1992). Первая ассоциация, пентландит-пирротин-халькопиритовая и пентландит-халькопиритовая со сперрилитом, меренскитом и котульскитом, приурочена к нижней части норитовой серии.

Вторая сульфидная ассоциация с промышленными концентрациями МПГ характерна в пределах тела микрогабброноритов в верхней части норитовой зоны, где выделяются три обогащенных платиноидами горизонта: 1) верхний (северный) непротяженный горизонт имеет содержания МПГ до 1,5–2 г/т; 2) зона макси-

мальной концентрации платиноидов (до 20 г/т) приурочена к нижнему эндо- и экзоконтакту микрогабброноритов и характеризуется неравномерным распределением оруденения; 3) пегматоидные разновидности в микрогабброноритах с медно-никелевым оруденением, в которых установлен широкий спектр сульфидов и металлов платиновой группы.

Формирование малосульфидной минерализации в ритмично-расслоенных массивах обусловлено образованием «критических» зон, которые характеризуются петрографической и текстурной неоднородностью (Шарков и др., 1994). Максимальное обогащение «критических» зон МПГ сопровождается увеличением в них концентраций хлора и широким развитием минералов, содержащих летучие и некогерентные элементы. В рудных горизонтах происходит накопление Pt, Pd, Ph относительно Ru, Ir, Os. Минералы МПГ встречаются не только в сульфидах, но и на границе сульфидов и силикатных минералов. Концентрация МПГ происходила на заключительных стадиях процесса кристаллизации пород и их дифференциации с активным участием флюидной среды.

Массив Кивакка характеризуется хорошей расслоенностью. В нем выделяются те же серии, что и в Луккулайсвааре. Продуктивной на МПГ в интрузиве является зона ритмично-расслоенных норитов с рассеянной сульфидной минерализацией (до 1%) с гнездообразными выделениями халькопирита, пентландита и пирротина. Аномальное содержание

Таблица 4. Минералы платиновых металлов в проявлениях ЭПГ Бураковского расслоенного комплекса (Гроховская и др., 2005)

Минералы и неизвестные минеральные фазы	Малосульфидная ЭПГ-минерализация		Главный хромитовый горизонт
	Шалозерский блок	Аганозерский блок	
Изоферроплатина (Pt ₃ Fe)			X
Самородная Pt	x		
Туламинит (Pt ₂ FeCu) (Cu ₃ Pt)	x	x	
Самородное Ag			
Самородное Au	x		
Электрум AuAg	x		
Куперит [(Pt, Pd, Ni)S]	x		
(Au, Pd) Cu	x		
(Pd, Pb) ₂ (Se, S)	x		
Лаурит (RuS ₂)	x		X
Сперрилит (PtAs ₂)	x	x	
Атоцит Pd, Sn	x		
Звягинцевит (Pd ₃ Pb)	x		
Паоловит Pd ₂ Sn		x	
Рустенбургит Pt ₃ Sn	x		
Мончеит [Pt(Te, Bi) ₂]	x	x	
Котульскит [Pt(Te, Bi)]	x	x	
Меренскит [(Pd, Pt)(Ne, Bi) ₂]	x	x	
Фрудит (PdBi ₂)	x		
Майченерит (PdTeBi)	x		
Сопчеит (Ag ₄ Pd ₃ Te ₄)	x		
Холлингвортит (RhAsS)	x		
Платарсит (PtAsS)	x		
Ирарсит (IrAsS)	x		
(Pd, Pt) ₂ Ge	x		
Кобальтин [(Co, Ni, Fe, Pd) AsS]	x	x	

Таблица 5. Прогнозные ресурсы ЭПГ по рудно-формационным типам и рудопроявлениям Карелии

Подгруппа рудно-формационного типа	Магматические и геологические формации	Геологические объекты	Прогнозные ресурсы, т				
			ЭПГ по категориям			Au	
			P ₁	P ₂	P ₃		
А. Собственно платиноидные типы							
Малосульфидная платинометаллическая	Ритмично-расслоенная перидотит-габбро-норитовая	<i>Бураковский</i>	–	110	310	*	
		В том числе по блокам:					
		Аганозерский	–	36,8	31,5	–	
		Шалозерский	–	75,5	102,5	–	
		Бураковский	–	–	178	–	
		<i>Олангская группа</i>	8	20	90	*	
		В том числе по массивам:					
Луккулайсваара	8,0	18,5	32	–			
Ципринга	–	–	27	–			
Кивакка	–	–	30	–			
Итого по рудной формации			8	130	400	–	
Платинометаллическая в углеродистых сланцах	Стратиформные конкреционные углеродсульфидные горизонты в средней подсвите заонежского горизонта людиковийского надгоризонта	Уницкий подтип Онежская впадина Пана-Куолаярвинская структура	Перспективы не ясны. Возможно наличие крупных месторождений. Оценка в 500 т кат. P ₃ (Савицкий, 1996Ф) не обоснована				
Итого собственно платиноидный тип			8	130	400	*	
Б. Типы с сопутствующей платинометаллической минерализацией							
Платиноидно-содержащая хромитовая	Ритмично-расслоенная перидотит-габбро-норитовая	<i>Бураковский</i>	–	10	110	*	
		В том числе по горизонтам:					
		ГХГ	–	10,0	95,0	–	
		хромититы УЗ хромсодержащие перидотиты ГНЗ	–	–	5,0	–	
Гипербазитовая дифференцированная	Рыбозеро (с-36, 5р, 9)		–	–	–	–	
			–	–	–	–	
Итого по рудной формации			–	10	110	*	
Платиноидно-содержащая титаномагнетитовая с ванадием	Трапповая толеит-базальтовая дифференцированная базитовая субформация	<i>Стратиформные горизонты tmt руд</i>	170	200	–	160	
		В том числе:					
		Пудожгорское	170,0	–	–	62,0	
		Тубозерское	–	20,0	–	5,0	
	Щелочно-ультраосновная	<i>Тикше-Ельтьозерский комплекс</i>	В том числе:				
			Тикшеозерский, уч. Восточный (ар-tmt в пироксенитах)	–	–	22,0	6,0
			Ельтьозерский, Восточное и Западное рудное поле (ар-tmt-ilm в габброидах)	–	–	18	3,0
	Ритмично-расслоенная и дифференцированная базит-гипербазитовая	Бураковский Кааламо Палаярвинский Травяная губа		–	4,0	10,0	1,0
				–	–	–	–
				–	–	–	–
Итого по рудной формации			170	205	50	170	
Сульфидная платиноидно-медно-никелевая	Дифференцированная гипербазитовая, базит-гипербазитовая	<i>Интрузивный тип</i>	1,55	9,6	3,0	–	
		В том числе:					
		Лебяжинское	0,85	4,6	–	–	
		Восточно-Вожминское и др.	0,7	2,0	2,0	–	
		Светлозерское	–	3,0	–	–	
		Рыбозерское	–	–	1,0	–	
	Коматиит-базальтовая	<i>Коматиитовый тип</i>	В том числе:				
			Золотопорожское	–	0,25	–	–
			Лещевское	–	0,15	–	–
			Западно-Рыбозерское	–	–	–	–
Хаутаваарское	–	1,0	–	–			
Итого по рудной формации			2	11	3	–	

Окончание табл. 5

Подгруппа рудно-формационного типа	Магматические и геологические формации	Геологические объекты	Прогнозные ресурсы, т			
			ЭПГ по категориям			Au
			P ₁	P ₂	P ₃	
Платиноидно-содержащая медно-молибден-порфировая	Габбро-диорит-гранодиоритовый	В том числе:	¹⁸⁷ Os – 83 кг в молибдените			
		Лобаш	–	–	–	–
		Пяявара	–	–	–	–
		Ялонваара	–	–	–	–
		Виетуккалампи	–	–	–	–
Платинополиметалльные в углеродистых сланцах и их метасоматитах	Онежский тип Ураноносные ванадиевые альбит-карбонатные метасоматиты зон СРД в высокоуглеродистых вулканогенно-осадочных породах людиковия	<i>Падминский подтип</i>				
		Онежская впадина	5	1	95	70
		<i>Рудопроявления и месторождения (Самойленко, 1994Ф)</i>	4,7	1,1	–	4,1
		В том числе:	459 кг Re + ¹⁸⁷ Os в молибдените			
		Средняя Падма	1,42	–	–	1,08
		Верхняя Падма	0,15	–	–	0,12
		Весеннее	0,51	–	–	1,04
		Царевское	1,27	–	–	0,21
		Космозеро	0,60	–	–	0,38
		Шульгиновское	0,72	–	–	0,56
		Пигмозерская СРД	–	0,47	–	0,31
		Уницкая СРД	–	0,62	–	0,42
		Потенциальные рудные узлы зон СРД (Савицкий, 1996Ф)	–	–	95,0	66,0
		Пана-Куолаярвинская структура	Перспективы не ясны, оценка не дается			
Итого по рудной формации			5	1	95	70
			459 кг Re + ¹⁸⁷ Os в молибдените			
Всего по объектам с сопутствующей платинометалльной минерализацией			177	227	253	245
Всего по Республике Карелия			185	357	653	245

Примечание. 1. Все итоговые цифры прогнозных ресурсов по комплексам, формационным типам и РК округлены. 2. Прогнозные ресурсы золота для расслоенных интрузий (* – малосульфидный и хромитовый типы) не оценивались ввиду неопределенности генезиса и минерального типа, уровня содержаний Au и ненадежности аналитических данных. 3. Используются фондовые материалы: Гриневич и др., 2000Ф; Ключин, 1994Ф; Савицкий и др., 1996Ф; Самойленко и др., 1994Ф; Сафронова, 1988Ф; Тытык и др., 1997Ф.

платиноидов приурочено к трем уровням: первый связан с оливинсодержащими пироксенидами нижней части разреза зоны; второй – с горизонтом пироксенитов в средней части разреза; третий – с прослоем меланократовых норитов в ассоциации с лейкократовыми норитами верхней части зоны. Мощность этих горизонтов колеблется от 1 до 30 м. Наиболее перспективным является первый горизонт, представленный пачкой переслаивания оливинсодержащих норитов, оливиновых пироксенитов и анортозитов, обогащенных сульфидами. Содержание суммы МПГ не превышает 4,6 г/т при отношении Pt/Pd – от 1 : 3 до 2 : 1. Сульфиды представлены пирротинном, пентландитом, халькопиритом; редко встречаются виоларит, пирит, сфалерит, борнит, халькозин, галенит, золото, серебро. Минералы МПГ образуют мелкие включения в сульфидах или располагаются в межзерновом пространстве (Ключин и др., 1994).

М а с с и в Ц и п р и н г а отличается от первых двух отсутствием ультраосновной и норитовой серий и широким развитием краевой серии. Верхняя зона сложена лейкократовыми троктолитами, оливиновыми габбро-норитами, реже габбро и анортозитами (Семенов и др., 1995). Серия габбро характеризуется ритмич-

ным чередованием мелко- и крупнозернистых пород, а также габбро с высоким (до 10–15%) и низким (1–5%) содержанием титаномагнетита и ильменита. Вкрапленная ильменит-титаномагнетитовая минерализация сопровождается халькопиритом, пирротинном, пентландитом, пиритом, ковеллином (до 1–2%). Содержание платиноидов только в единичных пробах достигает 1 г/т.

Среди протерозойских образований в Беломорской и Прибеломорской зонах Северной Карелии в связи с проблемой платиноносности в перспективном плане заслуживает внимания комплекс лерцолитов, габброноритов и комплекс метапорфиров – гранатовых габбро.

П л а т и н о с о д е р ж а щ а я х р о м и т о в а я в Бураковском массиве приурочена к ГХГ.

В разрезе расслоенной серии пород выделяются пять зон: ультраосновная (3000–4200 м), пироксенитовая (200 м), габбро-норитовая (1100 м), пижонитовых габбро-норитов (1200 м), феррогаббро-норитов (760 м). Ультраосновная и переходная зоны разделяются Главным хромитовым горизонтом (ГХГ) мощностью 3–5 м. По простиранию он прослежен полностью в пределах Аганозерского блока и частично – Шалозерского. В настоящий период ГХГ

детально изучается в целях промышленной разработки для получения феррохрома. На поисково-оценочной стадии запасы триоксида хрома подсчитаны в количестве 48,2 млн т, при среднем содержании 22,1% (табл. 5).

Хромитовый тип с МПГ выявлен в Бураковском массиве, где присутствуют два основных хромитовых горизонта, приуроченных к верхней части ультраосновной зоны. Содержания МПГ в них достигают 1–3 г/т, а минеральные формы представлены сульфидами ряда лаурит – эрликманит и интерметаллидами ряда изоферроплатина – аваурит (Трофимов и др., 1990). В целом платиноидная минерализация в хромитах обладает хорошо выраженной Pt-Ru-Os-Ir специализацией и обнаруживает сходство с минерализацией хромитовых горизонтов массивов Стиллуотер и Пенникат (рис. 3). Ресурсы МПГ оценены на уровне 120 т (табл. 5).

В ГХГ тугоплавкие платиноиды находятся в парагенетической ассоциации с хромшпинелидами и практически могут быть извлечены только путем металлургического передела, что при низких концентрациях нецелесообразно. Однако эти данные не исключают дальнейшей оценки платиноносности окисного типа на участках с их повышенной концентрацией вследствие потенциально возможного высокого содержания дорогостоящего Os₁₈₇, а также участков ГХГ с повышенной сульфидоносностью, перспективных на Pt и Pd.

Платиносодержащая титаномангнетитовая с ванадием связана с титаномангнетитовыми месторождениями – Пудожгорским (рис. 4) и Койкарско-Святнаволоцким, приуроченными к одноименным габбро-долеритовым интрузиям (Трофимов, Голубев, 1999).

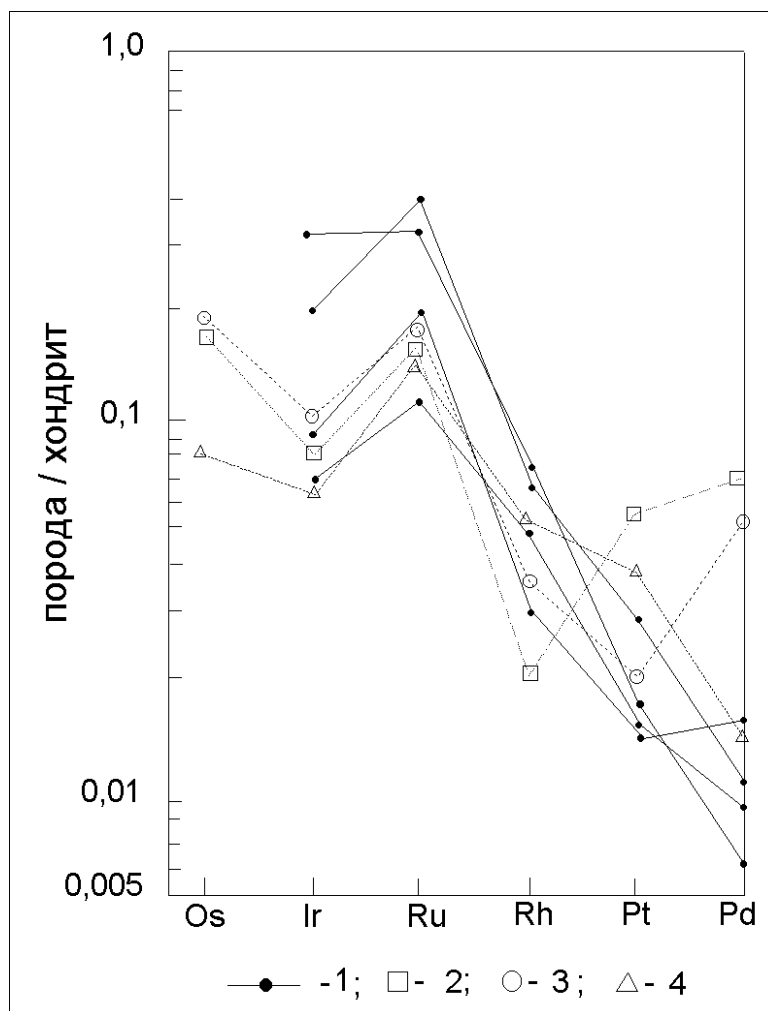


Рис. 3. Средние содержания ЭПГ в хромитовых месторождениях альпийского типа (в Омане, Новой Каледонии, Северной Калифорнии, Турции – Кабри, Налдретт, 1984) и расслоенных интрузивов Фенноскандинавского щита, нормализованные относительно хондрита С. 1:

1 – сплошные линии – хромиты альпинотипных ультрабазитов. Пунктирные линии: 2–3 – хромиты Бураковского интрузива, 2 – нижняя часть разреза ГХГ, 3 – бороздовая проба полного разреза ГХГ; 4 – Главный хромитовый слой месторождения Кеми (Финляндия)

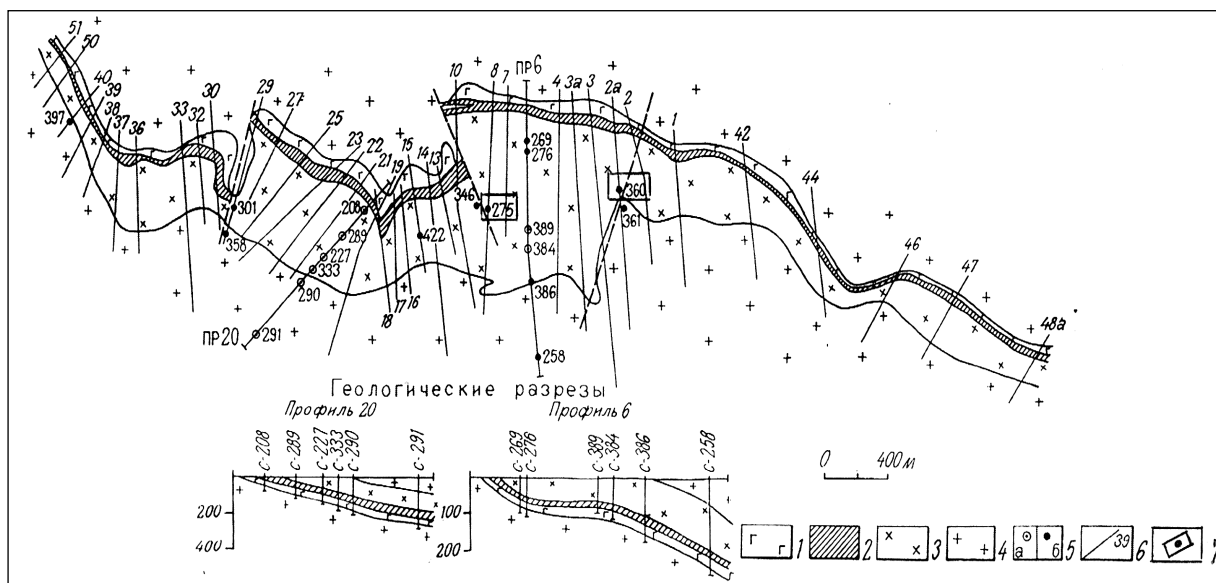


Рис. 4. Геологический план участка «Пудожгора» (составлен по материалам ПГО «Севзапгеология»):

1 – подрудный горизонт; 2 – рудный горизонт; 3 – диоритовая зона; 4 – граниты, гранитогнейсы; 5 – скважины: опорных разрезов (а), опробование на БМ (б); 6 – буровой профиль и его номер; 7 – место отбора технологических проб БМ

Пудожгорская и Койкарско-Святнаволоцкая пластовые интрузии габбродолеритов расположены в краевых частях Онежской рифтогенной структуры – в раме и на границе с ней симметрично относительно ее бортов. Связаны они с прототрапповым магматизмом, наиболее активно проявившимся в ятулии и людиковии, что позволяет отнести их к трапповой толеит-базальтовой формации (Трофимов, Голубев, 2000).

Интрузии сформированы флюидонасыщенными высокожелезистыми расплавами, прошедшими глубинную и гипабиссальную дифференциацию и обогащенными Ti, V, Cu, S, Au, Pt, Pd, но и истощенными по Ni, Co, Cr. Обе пластовые интрузии дифференцированы на нижнюю – габбровую и верхнюю – диоритовую зоны. Горизонт вкрапленных титаномагнетитовых руд, разделяя их, занимает псевдостратифицированное положение в разрезе, в 30–40 м от подошвы силлов, мощность его около 20 м (табл. 6). Титаномагнетитовое оруденение имеет ликвидационный магматический генезис. Руды средние и густовкрапленные, хорошо технологически изучены; структура их – идиоморфнозернистая и субмикроскопическая распада твердых растворов. Благороднометалльное оруденение концентрируется в сульфидном парагенезисе халькопирит-борнит (0,1–1%) и представлено теллуридами Pt и Pd котульскитом, меренскитом, сопчеитом, кейконнитом, сперрилитом (рис. 5). Средняя концентрация суммы БЭ (Au + Pt + Pd) незначительная и составляет 576 мг/т для Пудожгорского (табл. 7) и 875 мг/т (табл. 8) для Койкарско-Святнаволоцкого месторождения. В пределах титаномагнетитового горизонта имеются слои мощностью 5–7 м, обогащенные БЭ со средним содержанием

1,5–2 г/т. При этом в Пудожгорском месторождении обогащена нижняя часть рудного горизонта, а в Койкарско-Святнаволоцком – верхняя. Суммарные ресурсы по обоим объектам составляют: МПГ – 370 т, Au – 160 т.

Отнесение Пудожгорского и Койкарско-Святнаволоцкого месторождений к трапповой формации позволяет сделать вывод, что мы имеем дело с новым формационным типом – благороднометалльно-титаномагнетитовым. Рудная титаномагнетитовая формация широко развита в дифференциатах всех типов – базитовых, гипербазитовых, щелочных. Наиболее близки к описываемым объектам Уральские месторождения Кусинской группы, связанные с геосинклинальной габбродиорит-диабазовой формацией. В целом по сравнению с другими формационными типами Fe-Ti-V руды Пудожгорского и Койкарско-Святнаволоцкого месторождений характеризуются низкими содержаниями вредных примесей (S, P, Cr), высокими – пятиоксида ванадия и двуоксида титана, исключительно выдержанной по простиранию и падению рудной залежи благороднометалльной (Pt, Pd, Au, Ag) минерализацией в парагенезисе с сульфидами меди. Прогнозные ресурсы БЭ (табл. 5) позволяют классифицировать эти объекты как крупные месторождения комплексных благороднометалльно-титаномагнетитовых руд.

Платино-полиметалльная в углеродистых сланцах и их метасоматитах. Металлогеническая специфика черносланцевой формации прежде всего определяется приуроченностью к ней месторождений комплексных уран-ванадиевых руд с благороднометалльной специализацией в зоне складчато-разрывных дислокаций (СРД) в альбит-карбонатно-слюдистых метасоматитах

Таблица 6. Усредненный разрез Пудожгорского интрузива

	Элементы дифференцированности; мощность, м		Минеральный состав		
	Горизонт	Слой	Первичный парагенезис	Вторичные ассоциации	Поздние асс. с сульф.
++	Вмещающие породы – плагиомикроклиновые граниты				
^ ^^ ^^ ^^ ^^ ^^ ^^ ^^ ^^ ^^	341 шл. 29/146,7 137,8 Надрудный 80 м	Эндоконтакт до 5 м	Альбит, иногда ортоклаз Кварц и гранофир (до 30%) Амфибол (?)	Амфибол: субкальциевый ФА калиевый – ферригастингсит. Хлорит, биотит, лейкоксен. Ильменит-2, магнетит	
		Гранофиновый (кварцевый диорит – монцодиорит) 30 м			
	шл. 126/15,0 330А 334	Средне-крупнозернистые кварцевые габбродолериты 15 м	Андезин № 36–40, альбит Основной плагиоклаз отсутствует или не сохранился Авгит – иногда в реликтах Титаномагнетит – часто псевдоморфно замещен лейкоксеном, биотитом Гранофир и кварц (до 5–10%)	Альбит Амфибол: ФРО, ФАО Биотит, хлорит, эпидот, цоизит Лейкоксен, ильменит-2, сфен	
		Мелкозернистый габбро-долерит 30 м			
	Рудный 20–25 м шл. 275/83,8 275/85,8 126/472 360/78,7 (кровля)	Средне- и густовкрапленные титаномагнетитовые руды	Плагиоклаз-лабрадор № 54–58 Клинопироксен-авгит Рудный – титаномагнетит, ильменит-1	Амфибол: актинолит, субкальциевая ФАО Биотит, хлорит, альбит, эпидот Ильменит-2	±актинолит биотит ±хлорит ильменит-2 (халькопирит + борнит)
L L L L L L L L	Подрудный 25–30 м шл. 275/92,5	Мелко-среднезернистый титаномагнетитовый (10–20%) габбродолерит	Плагиоклаз-лабрадор, битовнит № 56–71 Клинопироксен – авгит F 31.1–45.6 Титаномагнетит Кварц, гранофир	Амфибол: ФА, ФРО Биотит, хлорит	
		Эндоконтакт до 5 м			
++	Вмещающие породы – плагиомикроклиновые граниты				

Примечание. Принятые сокращения: ФРО – ферро-роговая обманка, ФА – ферро-актинолит, ФАО – ферро-актинолит-роговая обманка.

Таблица 7. Содержание благородных металлов в дифференциатах Пудожгорской интрузии, мг/т

Горизонт	Кол-во анализов	Pt	Pd	Rh	Au	Pt/Pd	Σ _{БМ}
Подрудный	11	29,2	87,4	2,9	30,7	0,33	150,2
Рудный	11	112,0	347,0	2,3	117,0	0,32	576
Надрудный	18	3,3	12,2		9,6	0,27	25,1
Эндоконтакты	7	25,2	76,8		24,0	0,32	126
Средневзвешенное	47	27,9	88,4		33,9	0,32	150,2

(падминский подтип) (Булавин, 1990). Месторождения данного подтипа уникальны как по минеральному составу (около 100 рудных минералов), так и по запасам руд с высоким содержанием ванадия – 500 тыс. т (Билибина и др., 1991; Савицкий и др., 1994). Запасы сопутствующих элементов – U, Mo, Cu – составляют десятки тысяч тонн (табл. 5). Масштабы благороднометалльного оруденения, несомненно, велики – более 100 т (табл. 8), но оценка их ресурсов пока затруднена из-за неоднозначности результатов анализов проб с металлоорганическими соединениями БМ.

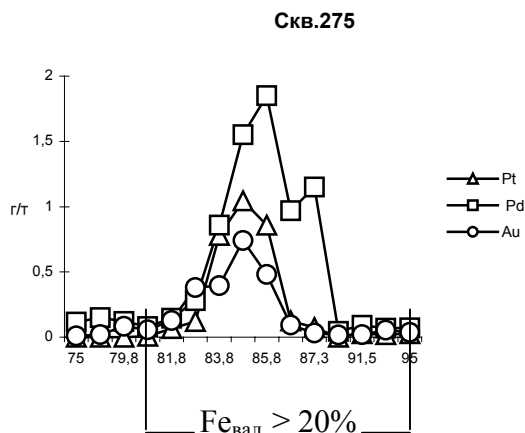
Кроме комплексных месторождений в зонах СРД, большой интерес представляют углеродсодержащие вулканогенно-осадочные образования, несущие стратиформную сульфидную минерализацию с благороднометалльной специализацией. Несмотря на общую заражен-

ность сульфидами всех частей разреза, наблюдается приуроченность рудного вещества к углеродсодержащим туффитам средней подсвиты заонежской свиты. Выделяются горизонты хемогенно-терригенных пород с конкреционной, линзовидной и другими формами сульфидной минерализации. На фациальных профилях они тяготеют к полям гидротермальной проработки второй фазы людиковийского базальтового вулканизма. Именно к этим горизонтам приурочены максимальные концентрации благородных металлов. Ранее в этих же образованиях А. В. Савицким определены концентрации БМ до 10–12 г/т и более. По нашим данным, столь высокие содержания не подтверждаются и требуют дальнейшей проверки. Это оруденение следует относить к уницкому подтипу онежского типа (Трофимов и др., 2002). Широкое площадное распространение

Таблица 8. Месторождения и рудопоявления Онежской впадины с благороднометалльной специализацией

Объекты	Зона, горизонт, свита	Благородные металлы				Рудные металлы			
		Тип	Содержание, г/т	Минеральные формы	Категория, прогнозные ресурсы, т	Главные		Второстепенные	
						Содержание, %	Запасы, ресурсы, млн т	Содержание, %	Запасы и ресурсы, тыс. т
Плутонический комплекс. Расслоенные интрузии									
Бураковский лополит	Переходная: а – кровля б – подошва, краевая часть Габбро-норитовая, полосчатая подзона	Стратиформный мало-сульфидный	Pt 1,1–1,5 Pd 0,8–3,5 Pt 0,2 Pd 0,2 Pt 0,3–0,5 Pd 1,1–3,5	Мончеит, меренскит, котульскит, фрудит, сопчеит, соболевскит, сперрилит	P ₃ 100–200				
	ГХГ Агано-зерского блока	Стратиформный окисный	Pt, Pd 0,1–3,2 Os, Ru, Ir 0,3	Лаурит-эрликманит		Cr ₂ O ₃ – 22,1	C ₂ +P ₁ 48,2		
	Линейные зоны брекчирования	Гидротерм. метасомат. сульфидный	Pd 2–10	Не установлены					
Вулканогенно-осадочный комплекс. 1. Трапповая формация. Пудожгорский тип									
Пудожгорская пластовая интрузия	ТМГ: полная мощность обогащенный слой (5,3 м)	Стратиформный мало-сульфидно-окисный	Pt, Pd, Au 0,576	Котульскит, меренскит, самородное золото	P ₁ 247	TiO ₂ – 8,14 V ₂ O ₅ – 0,43 Fe _{вал.} – 28,9	V+C ₁ +C ₂ 25,8 1,36 91,7	Cu – 0,13	412
			Pt, Pd, Au 1,48						
Койкарско-Святна-волоцкий силл	ТМГ: полная мощность обогащенный слой (7,4 м)		Pt, Pd, Au 0,875		P ₁ 270	TiO ₂ – 6,0 V ₂ O ₅ – 0,32 Fe _{вал.} – 23,0	C ₁ +C ₂ 18,8 1,0 72,3	Cu – не оценивалась	
			Pt, Pd, Au 1,97						
2. Черносланцевая формация. Онежский тип. 2А. Падминский подтип (Cu-U-Mo-V)									
Средняя Падма	Заонежский горизонт, нижняя под-свита. Тамбицкая зона СРД	Метасоматический, комплексный	Au 0,23 Pd 0,29 Pt 0,02	Изучены недостаточно. Установлены самородные Au, Ag, Pd, Cu и их твердые растворы и интерметаллиды	P ₁ 10–20	V ₂ O ₅ – 2,35	C ₁ + C ₂ 0,11	U – 0,07 Mo – 0,02 Cu – 0,04 Bi, Se	3,0 1,0 2,0
			Au, Pd 0,5						
Космозеро, Южное Космозеро, Великая Губа	Святухинско-Космозерская зона СРД		Au, Pd 0,5			V ₂ O ₅ – 2,5–2,9	C ₂ + P ₁ 0,15	U, Mo, Cu	
2Б. Стратиформный – Уницкий подтип									
	Заонежский горизонт, средняя под-свита	Конкреционный углерод-сульфидн. Битумоиды, оксиды кериты	Pt, Pd 1,7–7,8 Au 0,8–3,7 Ag 5,2–70 Ir 1,2–2,0 Rh 0,6–1,0 Os 0,02–0,3		P ₃ 100–200			Cu до 1,3 Zn до 0,9 Ni до 0,5 Pb до 0,4	
3. Эксгальационно-осадочный тип (медистых песчаников)									
Ворон Бор	Янгозерский надгоризонт Святухинско-Космозерская зона СРД	Вулканогенно-гидротермальный, метасоматический	Pt, Pd 0,01–0,1 Au 0,1–0,5 (до 80) Ag 10–16 (до 52)		P ₃ 15 (Au)	Cu – 1,39	4,9	Mo – 0,008–0,4 Bi – 0,002–0,4	

А



Б

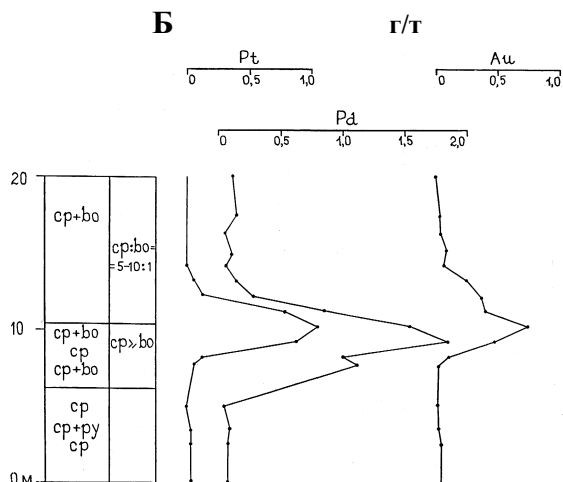


Рис. 5. Титаномагнетитовый горизонт:

А – распределение БМ в разрезе; Б – контроль содержания БМ (г/т) борнит-халькопиритовой парагенетической ассоциацией

стратиформного сульфидного оруденения с благороднометалльной специализацией, а также четкая приуроченность его к определенным частям разреза дают основание рассматривать этот подтип как один из наиболее потенциально перспективных на БМ. Подобный тип минерализации обнаружен также в Куолярвинской структуре, Ветреном Поясе, Северном Приладожье.

Таким образом, приведенная краткая характеристика основных рудно-формационных типов платинометалльного оруденения Карелии позволяет сделать следующее заключение: наибольшим ресурсным потенциалом платиновых металлов в ассоциации с сопутствующими рудами обладает Онежская рудоносная провинция, а собственно малосульфидный платинометалльный тип приурочен к ритмично-расслоенным базит-гипербазитовым комплексам Северной Карелии.

Литература

Билибина Т. В., Мельников Е. К., Савицкий А. В., 1991. О новом типе комплексных руд в Южной Карелии // Геология рудных месторождений. Т. 33, № 6. С. 3–14.

Булавин А. В., 1990. Закономерности размещения комплексного ванадиевого оруденения в структурах Онежского прогиба: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Л. 26 с.

Ганин В. А., Гриневич Н. Г., Логинов В. Н., 1995. Петрология и платиноносность Бураковско-Аганозерской интрузии (Восточное Заонежье) // Платина России. Т. II, кн. 2. М.: Геоинформмарк. С. 19–23.

Голубев А. И., Трофимов Н. Н., Лавров М. М., Филиппов Н. Б., 2004. Рудно-формационные типы платиноносных объектов Карелии // Платина России. Т. V. М.: Геоинформмарк. С. 335–344.

Гроховская Т. Л., Дистлер В. В., Ключин С. Ф. и др., 1992. Малосульфидная платиновая минерализация массива Луккулайсваара (Северная Карелия) // Геология рудных месторождений. Т. 34, № 2. С. 32–50.

Гроховская Т. Л., Лапина М. И., Ганин В. А., Гриневич Н. Г., 2005. Проявления ЭПГ-минерализации в Бураковском расслоенном комплексе (Южная Карелия, Россия) // Геология рудных месторождений. Т. 47, № 4. С. 315–341.

Додин Д. А., Оганесян Л. В., Чернышов Н. М., Яцкевич Б. А., 1998. Минерально-сырьевой потенциал платиновых металлов России на пороге XXI века. М.: Геоинформмарк. 121 с.

Додин Д. А., Чернышов Н. М., Яцкевич Б. А., 2000. Платинометалльные месторождения России. СПб.: Наука. 755 с.

Додин Д. А., Чернышов Н. М., Чередникова О. И., 2001. Металлогения платиноидов крупных регионов России. М.: Геоинформмарк. 302 с.

Ключин С. Ф., Гроховская Т. Л., Захаров А. А., Соловьева Т. В., 1994. Геология и перспективы платиноносности Олангской группы массивов (Северная Карелия) // Геология и генезис месторождений платиновых металлов. М. С. 111–125.

Лавров М. М., Трофимов Н. Н., Голубев А. И., Слюсарев В. Д., 2004. Геология и петрология Бураковского расслоенного интрузива // Отечественная геология. № 2. С. 23–30.

Лавров М. М., Голубев А. И., Трофимов Н. Н., 2006. Геохимия и минерогения Бураковского расслоенного интрузива // Отечественная геология. № 1. С. 3–13.

Металлогения Карелии, 1999 / Под ред. С. И. Рыбакова, А. И. Голубева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 340 с.

Савицкий А. В., Билибина Т. В., Мельников Е. К. и др., 1994. Закономерности размещения месторождений комплексных руд онежского типа и перспективы их обнаружения в восточной части Балтийского щита // Геология и генезис месторождений платиновых металлов. М.: Наука. С. 217–225.

- Семенов В. С., Коптев-Дворников Е. В., Берковский А. Н. и др., 1995. Расслоенный трактолит-габброноритовый интрузив Ципринга, Северная Карелия: геологическое строение, петрология // Петрология. Т. 3, № 6. С. 645–668.
- Трофимов Н. Н., Голубев А. И., 1999. Геодинамические условия образования благороднометалло-титаномагнетитовых месторождений Онежской рифтогенной структуры, Карелия // Руды и металлы. № 5. С. 23–35.
- Трофимов Н. Н., Голубев А. И., 2000. Геодинамические условия формирования и металлогения Онежской впадины // Руды и металлы. № 5. С. 10–25.
- Трофимов Н. Н., Барков А. Ю., Леднев А. И. и др., 1990. Первые данные о минералах платиновых металлов в Бураковском расслоенном массиве (Карелия) // ДАН СССР. Т. 315, № 3. С. 703–706.
- Трофимов Н. Н., Голубев А. И., Филиппов Н. Б., 1999. Платиноидно- и золотосодержащие ванадий-титаномагнетитовые месторождения в дифференцированных габбро-долеритовых интрузиях Карелии // Платина России. Т. III, кн. 2. М.: Геоинформмарк. С. 200–211.
- Трофимов Н. Н., Голубев А. И., Смирнова Н. К., 2002. Рудно-формационные типы и прогнозные ресурсы платиноносных объектов Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 5. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 41–46.
- Трофимов Н. Н., Голубев А. И., Лавров М. М., Ганин В. А., 2004. Перспективные типы платинометалльного оруденения в расслоенных интрузиях Карелии // Платина России. Т. V. М.: Геоинформмарк. С. 205–225.
- Филиппов Н. Б., Голубев А. И., Иваников В. В., Турченко С. И., 1999. Платинометалльное оруденение в истории геологического развития восточной части Балтийского щита // Вестник СПб. ун-та, сер. 7. Вып. 1 (№ 7). С. 3–15.
- Шарков Е. В., Богатиков О. А., Пчелинцева Н. Ф. и др., 1995. Перспективы платиноносности раннепротерозойского Бураковского расслоенного интрузива в Южной Карелии // Платина России. Т. II, кн. 2. М.: Геоинформмарк. С. 10–19.
- Шарков Е. В., Лазько Е. Е., Ляхович В. В., 1994. Платиноносные микрогабброиды расслоенного интрузива Луккулайсваара (Северная Карелия) // Платина России. М.: Геоинформмарк. С. 48–54.
- Alapieti T. T., 1982. The Koillismaa layered igneous complex, Finland its structure, mineralogy and geochemistry, with emphasis on the distribution of chromium // Geol. Surv. of Finland. Espoo. 116 p.
- Alapieti T. T., Lahtinen J. J., 1989. Early proterozoic layered intrusions in the Northeastern part of the Fennoscandian Shield // 5th International Platinum Symposium. Espoo. P. 3–41.