

8. Добрецов Н. Л. Лавсонит-глаукофановые и глаукофановые сланцы СССР и некоторые проблемы метаморфизма орогенических поясов // Междунар. геол. конгр. XXIII сес. Докл. советских геологов. М., 1968. С. 31–39.

9. Степанов В. С. Основной магматизм докембрия Западного Беломорья. Л., 1981. 216 с.

10. Lobach-Zhuchenko S. B., Arestova N. A., Chekulaev V. P. et al. Geochemistry and petrology of 2.40–2.45 Ga magmatic rocks in the north-western Belomorian Belt, Fennoscandian Shield, Russia // Precambrian Research. 1998. V. 92. P. 223–250.

11. Слабунов А. И., Ларионов А. Н., Бибикова Е. В. и др. Геология и геохронология Шобозерского массива комплекса лерцолитов – габроноритов Беломорского подвижного пояса // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 3. Петрозаводск, 2001. С. 3–14.

12. Слабунов А. И., Володичев О. И., Бибикова Е. В. U-Pb геохронология, Nd систематика и петрология ран-

непротерозойских эклогитов Беломорского подвижного пояса (Балтийский щит) // Изотопная геохронология в решении проблем геодинамики и рудогенеза: Материалы II Рос. конф. по изотопной геохронологии. СПб., 2003. С. 465–467.

13. Степанов В. С., Степанова А. В. Гридинское дайковое поле: геология, геохимия, петрология // Беломорский подвижный пояс и его аналоги: геология, геохронология, геодинамика, минерагения... Петрозаводск, 2005. С. 285–288.

14. Степанова А. В., Ларионов А. Н., Степанов В. С. и др. Раннепротерозойский (2.1 млрд. лет) Fe-толеитовый магматизм Беломорской провинции Балтийского щита: геохимия, геохронология, геодинамические следствия // Мантийные плюмы и металлогения: Материалы междунар. симпози. Петрозаводск; Москва, 2002. С. 234–237.

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ДОКЕМБРИЯ КАРЕЛИИ

А. И. Голубев, Н. Н. Трофимов, М. М. Лавров, В. Д. Слюсарев

Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск

Территория Карелии, являющаяся составной частью Фенноскандинавского щита, характеризуется длительным многоэтапным геологическим развитием в различных геодинамических условиях, неоднократным проявлением разнообразного вулканоплутонизма, сопровождавшегося вулканогенно-осадочным, магматическим, гидротермальным и метаморфогенно-метасоматическим рудогенезом. Анализ существующего материала позволяет констатировать, что наиболее перспективны на благороднометалльное оруденение зеленокаменные пояса верхнеархейского времени и протерозойские вулканогенно-осадочные, вулканогенные и интрузивные образования, формирующиеся в режиме внутриплитного континентального рифтогенеза (рис.). При этом установлено, что для зеленокаменных поясов более характерна золоторудная специализация, а для протерозойских образований – платинометалльная [1, 2].

Золоторудные месторождения зеленокаменных поясов по обстановкам нахождения и формирования разнообразны и имеют устойчивые ассоциации с конкретными рудоносными литофациальными комплексами формаций. Выделено шесть рудно-формационных типов золоторудных месторождений зеленокаменных поясов, названных по наиболее характерным региональным генотипам месторождений [3]. Сингенетическое накопление золота лопийских зеленокаменных поясов связано преимущественно со среднекислым магматизмом андезит-дацитовой и дацит-риолитовой формаций, дайками и субвулканическими интрузиями порфирирового типа, колчеданно-полиметаллической и полосчатыми железисто-кремнистыми

рудными формациями. Одна из характерных особенностей зеленокаменных поясов – развитие мультстадийных метаморфических процессов и формирование региональных зон расланцевания, контролирующих положение ореолов гидротермально-метасоматических изменений.

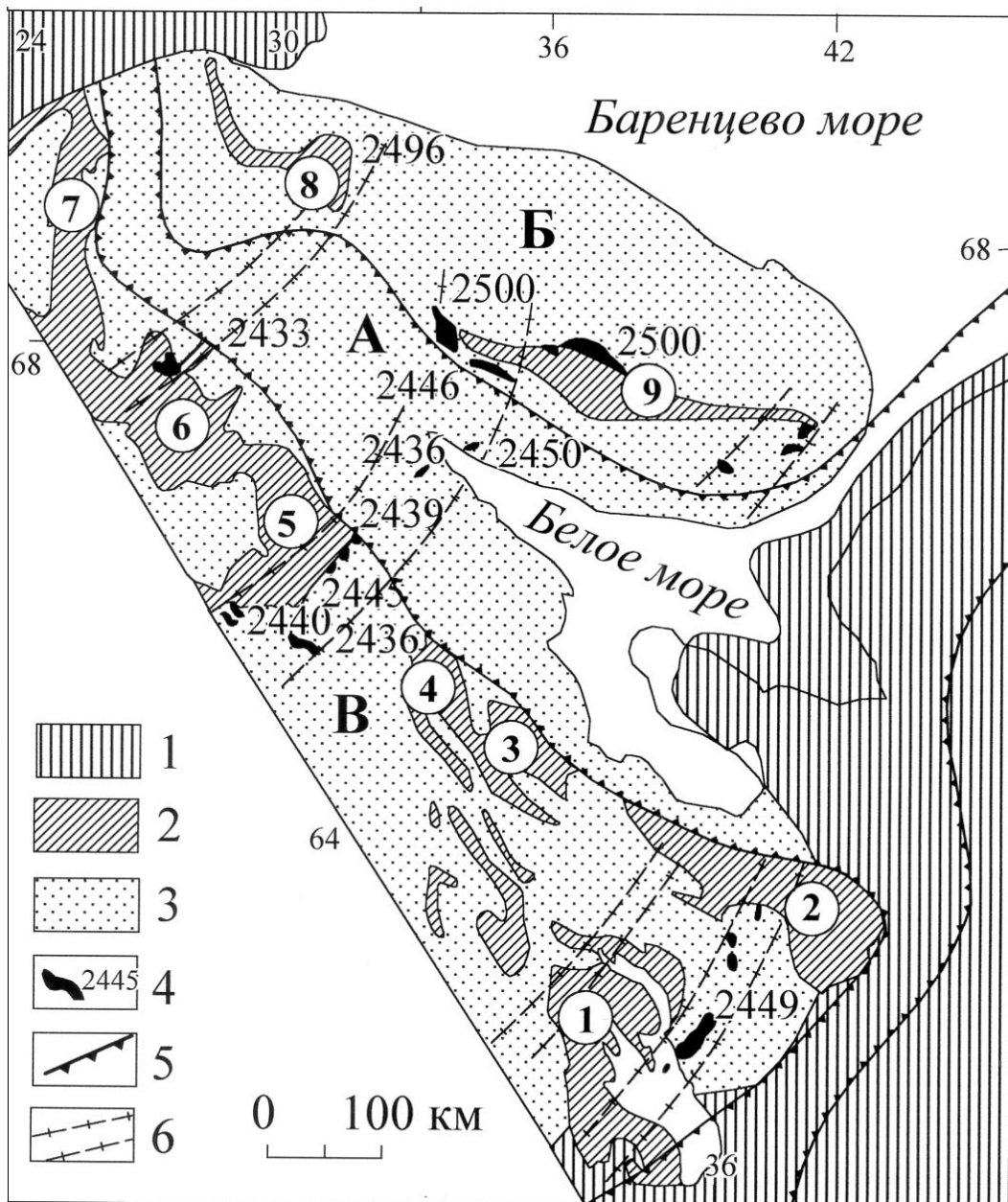
Анализ перспектив золотоносности архейских зеленокаменных поясов Карелии с учетом данных по Канаде, Австралии, Индии, Южной Африке, Финляндии и другим докембрийским провинциям позволяет оптимистически оценивать регион на предмет обнаружения промышленно значимых объектов [4, 5].

К потенциально золотоносным раннепротерозойским образованиям Карелии относятся сульфидсодержащие вулканогенно-осадочные толщи и углеродсодержащие сланцы в областях основного и средне-кислого вулканизма. Рудопроявления этой группы характерны для Онежской, Ладжской и Куоляярвинской структур и типичны для южной Финляндии [6]. Рудопроявления, связанные с раннеорогенным гранитоидным магматизмом (I-типа, например, проявление Алатту в Северном Приладожье), наиболее схожи по условиям формирования с месторождениями в свекофеннидах Финляндии [7].

Наиболее перспективными на платинометалльное оруденение являются протерозойские рифтогенные структуры (рис.). Практический интерес представляют: 1 – расслоенные мафит-ультрамафитовые массивы (Бураковский, Кивакка, Ци-принга, Луккулайсваара и др.) с хромитовым и малосульфидным оруденением. С ними связаны ведущие типы платинометалльного оруденения:

а) платино-палладиевый малосульфидный тип – стратиформные горизонты в зонах наибольшей контрастной расслоенности; б) платино-палладиевый сульфидный Cu-Ni в обогащенных сульфидами краевых и центральных зонах интрузий; в) Os-Ru-Ir – окисный в рудных хромитовых горизонтах; г) палладиево-сульфидный с Au в зонах гидротермально-метасоматической переработки пород и руд; 2 – дифференцированные габбро-диоритовые интрузии с Ti-Mgt оруденением (Пудож-

гора, Койкары-Святнаволок и др.). Благороднометалльное оруденение локализовано в титаномagnetитовом горизонте в подошве ореола меди и контролируется борнит-халькопиритовой ассоциацией; 3 – черносланцевые формации, с первичноаномальными концентрациями рудных и благородных элементов, образующие комплексные Cu-U-Mo-V руды с благороднометалльной специализацией в зонах складчато-разрывных дислокаций (СРД) в свекофенский этап активизации.



Раннепротерозойская Беломорско-Лапландская внутриконтинентальная рифтогенная структура:

1 – фанерозойские отложения; 2 – нижнепротерозойские вулканогенно-осадочные комплексы; 3 – нерасчлененные архейские и архей-протерозойские (Беломорский блок) образования; 4 – раннепротерозойские расслоенные интрузии и их изотопный возраст; 5 – границы срединной зоны рифта и субпровинций в составе Карело-Кольской металлогенической провинции: А – Беломорской; Б – Кольской (северо-восточное плечо рифта); В – Карельской (юго-западное плечо рифта); 6 – поперечные зоны растяжения, контролирующие внедрение расслоенных интрузий. Раннепротерозойские компенсационные структуры прогибания: 1 – Онежская, 2 – Ветренный Пояс, 3 – Лехтинская, 4 – Шомбозерская, 5 – Пана-Куоляярвинская, 6 – Сала-Соданкюля, 7 – Карасйоок, 8 – Печенгская, 9 – Имандра-Варзугская

Ниже приводится краткая характеристика перспективных типов платиноидного оруденения Карельского региона [8].

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 (Луккулайсваара, Кивакка, Ципринга), приуроченные к зоне глубинных разломов внутриконтинентальной рифтогенной системы субширотного простирания. В Бураковском массиве малосульфидный платинометалльный тип связан с сульфидсодержащими горизонтами пород, приуроченных к верхней части клинопироксенитовой подзоны и полосчатым подзонам переходной зоны. Количество сульфидов в них колеблется от 1 до 3%, и представлены они халькопиритом, пентландитом, пиритом, пирротинном. Содержание МПГ в микроасслоенных горизонтах достигает 3 г/т в клинопироксенитовой зоне и до 6 г/т в полосчатой подзоне при постоянном преобладании Pd над Pt [9–11]. Существует прямая корреляционная зависимость между содержанием платиноидов и количеством сульфидов. Среди минеральных форм установлены теллуриды и висмутиты платины и палладия — мончеит, котульскит, меренскит, соболевскит, фрудит, сопчеит [12].

Вторым перспективным объектом является Олангская группа расслоенных интрузий. 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 [13]. Платиноидное оруденение приурочено к средней критической зоне норитовой серии, где установлены две ассоциации сульфидов, содержащие платиновые минералы [14]. 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 горизонты: 1) верхний (северный) непротяженный горизонт имеет содержания МПГ до 1,5–2 г/т; 2) зона максимальной 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 [14].

Массив К и в а к к а характеризуется хорошо выраженной 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 платиноидов приурочено к трем уровням: первый связан с оливинсодержащими пироксенитами 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.

Платиносодержащая хромитовая рудная формация выделена в Бураковском массиве и приурочена к главному хромитовому горизонту (ГХГ) мощностью 3–5 м, который разделяет ультраосновную и переходную зоны. По простиранию он непрерывно прослежен полностью в пределах Аганозерского блока и частично — Шалозерского. Содержания МПГ достигают 1–3 г/т, а минеральные формы представлены сульфидами ряда лаурит — эрликманит и интерметаллидами ряда изоферроплатина — аваурит. В целом платиноидная минерализация в хромитах обладает хорошо выраженной Pt-Ru-Os-Ir специализацией и обнаруживает сходство с минерализацией хромитовых горизонтов массивов Стиллоутер и Пеникат [15].

Платиносодержащая титаномагнетитовая с ванадием формация связана с титаномагнетитовыми месторождениями — Пудожгорским и Койкарско-Святнаволоцким, приуроченными к одноименным габбро-долеритовым интрузиям. Пудожгорская и Койкарско-Святнаволоцкая пластовые интрузии габбродолеритов расположены в краевых частях Онежской рифтогенной структуры.

Интрузии сформированы флюидонасыщенными высокожелезистыми расплавами, прошедшими глубинную и гипабиссальную дифференциацию и обогащенными Ti, V, Cu, S, Au, Pt, Pd, но истощенными по Ni, Co, Cr. Обе пластовые интрузии дифференцированы на нижнюю — габбровую и верхнюю — диоритовую зоны. Горизонт вкрапленных титаномагнетитовых руд, разделяющий их, занимает псевдостратифицированное положение в разрезе, в 30–40 м от подошвы силлов, мощ-

ность его около 20 м. Титаномагнетитовое оруденение имеет ликвационный магматический генезис. Руды средне- и густовкрапленные, хорошо технологически изучены. Структура их – идиоморфнозернистая и субмикроскопическая распада твердых растворов. благороднометалльное оруденение концентрируется сульфидным парагенезисом халькопирит-борнит (0,1–1%) и представлено теллуридами Pt и Pd – котульскитом, меренскитом, сопчеитом, кейтконнитом, сперрилитом. Средняя концентрация суммы БЭ (Au + Pt + Pd) незначительная и составляет 731 мг/т для Пудожгорского и 875 мг/т 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.

Платино-полиметалльная рудная формация в углеродсодержащих сланцах. Металлогеническая специфика черносланцевой формации определяется приуроченностью к ней (геохимический барьер) месторождений комплексных уран-ванадиевых руд с благороднометалльной специализацией в зонах СРД в альбит-карбонатно-слюдистых метасоматитах (падминский подтип) [16, 17].

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

разреза, наблюдается приуроченность рудного вещества к углеродсодержащим туффидам 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 людииковийского базальтового вулканизма. Именно к этим горизонтам приурочены максимальные концентрации благородных металлов. Это оруденение следует относить к уникальному подтипу онежского типа. Широкое площадное распространение стратиморфного 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.

В верхнеархейских зеленокаменных поясах платиноидное оруденение установлено в связи с магматическими типами: медно-никелевым (Волошово), хромитовым (Выгозеро), титаномагнетитовым (Хаутаваара), апатит-магнетитовым (Сяргозеро) в базит-ультрабазитовых комплексах.

Приведенные исследования позволяют по-новому оценивать перспективы Карельского региона на благороднометалльное оруденение и говорить о Карелии как о новой рудной благороднометалльной провинции на Северо-Западе России, ресурсы которой оцениваются по платиноидам в 1200 т: категория P₁ – 185 т; P₂ – 357 т; P₃ – 658 т, а по золоту – 245 т [18].

1. Голубев А. И., Трофимов Н. Н., Лавров М. М. Нетрадиционные типы благороднометалльного оруденения Карелии – минерально-сырьевой потенциал XXI века Северо-Запада России // Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века: Тез. докл. Т. 2. СПб., 2000. С. 68–70.

2. Голубев А. И., Филиппов Н. Б., Трофимов Н. Н. Перспективные рудно-формационные типы платиноносных объектов Карелии // Материалы Всерос. симпозиума «Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов». М., 2002. С. 128–132.

3. Ручкин Г. В., Конкин В. Д., Ганжа Л. М. и др. Геолого-поисковые модели золоторудных месторождений зеленокаменных поясов // Руды и металлы. 2000. № 4. С. 5–15.

4. Кожевников В. Н. Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск, 2000. 223 с.

5. Кожевников В. Н., Голубев А. И., Рыбаков С. И. Факторы контроля золотометалльного оруденения в архейских зеленокаменных поясах: Сравнительный анализ Сьюпириор и Карельского кратонов // Отечественная геология. 1998. № 3. С. 55–64.

6. Голубев А. И., Кулешевич Л. В. Перспективы золотоносности протерозойских образований Карелии. // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 3. Петрозаводск, 2001. С. 15–25.

7. Иващенко В. И., Ручьев А. М., Лавров О. Б., Кондрашова Н. И. Рудопроявление Пякюля – новый перспективный благороднометалльный объект в Приладожье // Там же. С. 40–53.

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

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

10. Шарков Е. В., Богатииков О. А., Пчелинцева Н. Ф. и др. Перспективы платиноносности раннепротерозойского Бураковского расслоенного интрузива в Южной Карелии // Там же. С. 10–19.

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

12. Трофимов Н. Н., Барков А. Ю., Леднев А. И. и др. Первые данные о минералах платиновых металлов в Бураковском расслоенном массиве (Карелия) // ДАН СССР. 1990. Т. 315, № 3. С. 703–706.

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

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

15. Металлогения Карелии. Петрозаводск, 1999. 340 с.

16. Билибина Т. В., Мельников Е. К., Савицкий А. В. О новом типе комплексных руд в Южной Карелии // Гео-

логия рудных месторождений. 1991. Т. 33, № 6. С. 3–14.

17. Савицкий А. В., Билибина Т. В., Мельников Е. К. и др. Геология и генезис месторождений платиновых металлов. М., 1994. С. 217–225.

18. Трофимов Н. Н., Голубев А. И. Геодинамическая позиция перспективных платиноносных формаций Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 6. Петрозаводск, 2003. С. 26–33.

УЛУЧШЕНИЕ ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТИ ФУТЕРОВКИ ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ МЕТОДОМ ВВЕДЕНИЯ МИНЕРАЛИЗАТОРОВ

А. С. Заверткин, А. Н. Сафронов

Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск; safronov@krc.karelia.ru

Одной из наиболее распространенных добавок для спекания порошкообразных масс из кварцитов является борная кислота. Вводится она обычно в небольшом количестве от 0,5 до 3% [1]. Для связи при прессовании образцов и изделий применяют глину, жидкое стекло, сульфитно-спиртовую барду или ее заменители в количестве от 1 до 2% (в расчете на твердое вещество). В качестве минерализующих добавок используют помимо H_3BO_3 , борный ангидрид, буру. Органическая связка выгорает, а упрочнение всех кремнеземистых масс основано на образовании геля. Введение высокотемпературных добавок (ZrO_2 , Cr_2O_3 , хромоглиноземистый шлак, хромит) к кислой футеровке существенно не повышает огнеупорности масс. По данным Восточного института огнеупоров [2], массы цирконо-кварцитного состава могут быть рекомендованы к промышленному применению в печах большой емкости.

Известно, что для улучшения свойств кислых огнеупоров применяются добавки из смеси оксидов кальция, железа, натрия, фосфорсодержащие добавки, специальная фритта, сплавленная из смеси кремнезема и оксида натрия или кремнезема с оксидами железа и кальция, тридимитовая затравка в виде тонкого помола тридимитизированного динаса или добавка 30% корунда.

Установлена пригодность шихт динасового производства для изготовления футеровочных масс. М. Н. Кайбичева [2] рекомендует добавку корунда (до 11%) применять для футеровки канальных индукционных печей при плавке медных сплавов к шихте, состоящей из кварцита (86–96%), стекла (0–2%), борной кислоты или буры (1–2%). Доказано, что термостойкость кислых огнеупоров может быть повышена путем введения титана в решетку кристобалита. При реакции между расплавом и тиглем вводимая добавка действует не только каталитически, ускоряя реакцию образования новой фазы, но и непосредственно

взаимодействует с основной массой реагирующего материала.

Нами было проведено исследование влияния борсодержащих добавок на качество кварцитной футеровочной массы. Из практики работы индукционных печей фирмы ASEA известно, что без добавки борной кислоты или других борсодержащих материалов прочного спеченного рабочего слоя в футеровке тигля не образуется. Так как борная кислота летуча с парами воды, то представляет интерес изучение влияния других менее летучих добавок на изменение свойств кислой футеровки, таких как бораты кальция и магния, и их поведение в процессе обжига и эксплуатации тиглей индукционных печей. По нашему предположению, бораты кальция и магния должны снижать летучесть добавок с парами воды.

В лабораторных условиях были синтезированы добавки ашарита ($MgBO_2 \cdot OH$) и гидроборацита ($CaMgB_6O_{11} \cdot 6 H_2O$) методом взаимодействия гидрата окиси кальция и магния с концентрированным раствором борной кислоты при температуре около 100 °С с последующим переплавом продуктов реакции в силитовых печах. Температура плавления полученных соединений находилась в пределах 750–800 °С. При изготовлении образцов с добавками ашарита и гидроборацита (после сушки) на их поверхности по сравнению с добавкой борной кислоты не происходит «высаливание» спекающей добавки. С целью сравнения действия синтезированных боратов на качество футеровки использовали борную кислоту марки ч.д.а., а в качестве футеровочного материала применяли карельский кварцит с содержанием кремнезема более 98% и шведскую массу роданит с величиной зерна от 0 до 3 мм. Спекание образцов с добавками и определение их свойств проводились параллельно на серии образцов с каждой добавкой. Физико-керамические свойства футеровочных масс с различными добавками показаны на рис. 1.