

УДК 550.42 : 552.312 : 551.71(470.22)

З.П. Рыбникова

**Распределение элементов платиновой группы
в мезоархейских коматиит-базальтовых ассоциациях
Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса
(Центральная Карелия)**

Z.P. Rybnikova

**Distribution of platinum group elements
in Mesoarchean komatiite-basalt associations
of the Vedlozero-Segozero greenstone belt (Central Karelia)**

Аннотация. Представлены результаты прецизионного изучения распределения элементов платиновой группы (ЭПГ) и золота в мезоархейских коматиит-базальтовых комплексах Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. Определены вариации содержания ЭПГ в основных геохимических и литофациальных разновидностях пород коматиитовой серии.

Abstract. The results of the precision study of the distribution of platinum group elements (PGE), including gold, in the mesoarchean (2.9-3.0 Ga) komatiite-basaltic complexes of the Vedlozero-Segozero greenstone belt have been presented. Variations of PGE contents in the main geochemical and lithofacies types of komatiitic series have been established.

Ключевые слова: коматииты, коматиитовые базальты, элементы платиновой группы, золото, Ведлозерско-Сегозерский зеленокаменный пояс, Центральная Карелия

Key words: komatiites, platinum-group elements, gold, mezoarchean, Vedlozero-Segozero greenstone belt, Central Karelia

1. Введение

Распределение элементов платиновой группы (ЭПГ) является дополнительной составляющей общей геохимической характеристики пород, а также инструментом реконструкции петрогенезиса магматических расплавов, и прежде всего ультраосновных-основных пород (*Puchtel, Humayun, 2000; Fiorentini et al., 2011*).

Процесс изучения связи распределения элементов платиновой группы с условиями образования вулканитов коматиитового ряда в комплексах Фенноскандинавского щита включал несколько этапов. Прецизионное исследование поведения элементов платиновой группы сначала было выполнено для мезоархейских коматиитов Костомукшской структуры (*Puchtel, Humayun, 2000*), затем для зеленокаменных поясов Восточной Карелии (Волоцкая толща, Ветренный пояс), Восточной Финляндии (Кухмо), Норвегии (Карасийок) (*Fiorentini et al., 2011*).

В данном исследовании акцент делается на анализе распределения ЭПГ в высокомагнезиальных мезоархейских породах (3,0-2,9 млрд лет), принадлежащих к коматиит-базальтовым ассоциациям Центральной Карелии, в частности наиболее изученным разрезам Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса (ВСЗП).

Основными задачами исследования являлись: 1) прецизионное геохимическое определение концентраций ЭПГ в архейских высокомагнезиальных вулканитах коматиитового ряда; 2) установление корреляции концентрации ЭПГ с выделяемыми породными литотипами; 3) изучение закономерностей распределения ЭПГ в породах; 4) сопоставление геохимии изучаемых вулканитов с выделяемыми мировыми петрологическими типами коматиитов из районов Барбертон и Мунро (*Arndt et al., 2008*); 5) реконструкция условий магмообразования высокомагнезиальных расплавов.

Коматиит-базальтовая ассоциация (коматиит-базальтовая серия) включает пространственно сосуществующие и генетически родственные породы: коматииты (различной магнезиальности), коматиитовые базальты, базальты.

2. Характеристика объекта исследования

Данное исследование проводилось в пределах Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса, расположенного на западном обрамлении палеоархейского Ведлозерского блока в центральной части Карельской провинции Фенноскандинавского щита.

Зеленокаменный пояс протягивается в субмеридиональном направлении от оз. Ведлозеро до оз. Сегозеро более чем на 300 км; его ширина составляет 50-60 км (рис. 1, а). Пояс сформирован вулканогенно-осадочными комплексами мезо- и неогархейского возраста, в наибольшей степени сохранными в Хаутаваарской, Койкарской, Паласельгинской, Семченской, Совдозерской и других структурах, разделенных полями гранитогнейсов различного состава и возраста (Коматииты..., 1988; Светова, 1988; Стратиграфия докембрия Карелии..., 1992; Svetov et al., 2001; Светов, 2005; 2009).

В пределах зеленокаменного пояса породы коматиит-базальтовой ассоциации расположены на компактных площадях. Они формируют разрезы реконструированной мощностью от 800 м до 2000 м, которые представлены чередованием лавовых потоков с многочисленными прослоями туфового и вулканогенно-терригенного материала. Пирокластические фации не превышают 3-5 % от общего объема изучаемых пород (Светова, 1988). В разрезах ассоциаций выделяются коматиитовые и базальтовые пачки, при этом отмечается доминирующее развитие вулканитов базальтового состава. В Койкарской структуре базальты (принадлежащие к коматиитовой серии) залегают на коматиитах, а в Паласельгинской и Совдозерской структурах чередуются с ними в разрезе (рис. 1, б).

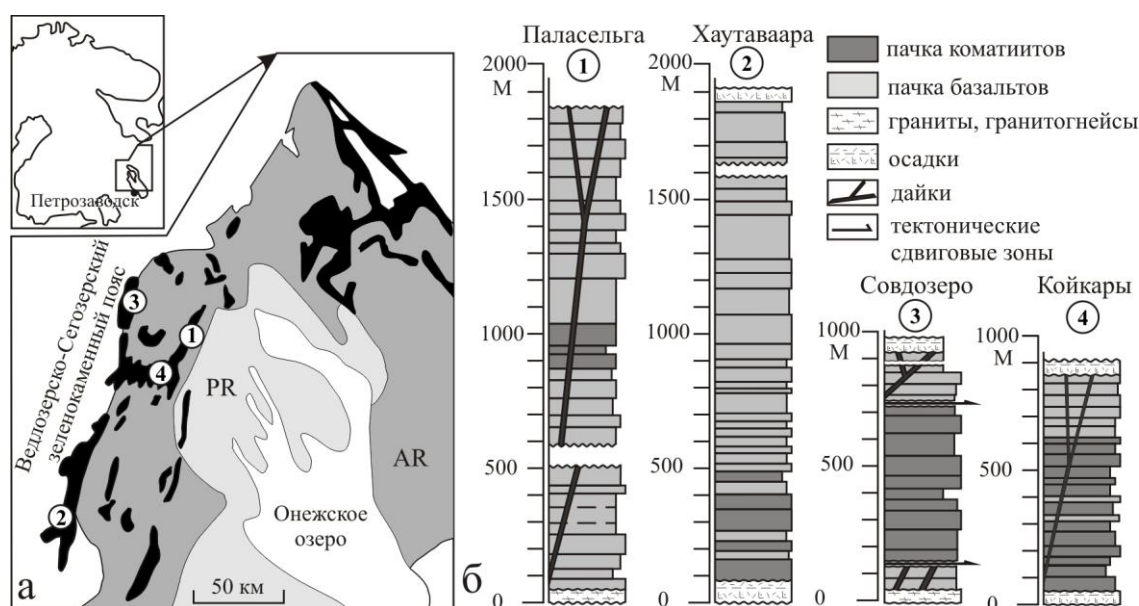


Рис. 1. Упрощенная схема геологического строения Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса и положения изучаемых зеленокаменных структур. *Фрагмент а.* Геологическое строение: черный цвет – мезоархейские зеленокаменные структуры; темно-серый цвет – архейские комплексы Водлозерского блока; светло-серый цвет – перекрывающие палеопротерозойские породные ассоциации; районы работ: 1 – Паласельгинская структура; 2 – Хаутаваарская структура; 3 – Совдозерская структура; 4 – Койкарская структура. *Фрагмент б.* Стратиграфические колонки реконструированных разрезов мезоархейских коматиит-базальтовых ассоциаций Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса, построенные на основе результатов исследования (Светов, 2005)

В литофациальном плане ассоциация сформирована лавовыми толщами, представленными массивными, подушечными, вариолитовыми, дифференцированными потоками мощностью 1-30 м.

Комагматичные интрузивные комплексы изучаемых структур представлены телами высокомагнезиального габбро (близкого по составу коматиитовым базальтам) и ультрамафитами (серпентинитами) (Светов, 2005).

Время формирования коматиит-базальтовых ассоциаций ВСЗП установлено на основе датирования секущих дайковых систем андезидацитового состава. В Койкарской структуре определен возраст субвулканических дацитов, равный 2935 ± 15 млн лет (Бибикова, Крылов, 1983); в Семченской структуре (западный фланг Койкарской структуры) коматиит-базальтовую ассоциацию секут габбро-диориты в возрасте 2890 ± 40 млн лет (Сергеев и др., 1983). Sm-Nd-эрохронный возраст коматиит-базальтовых ассоциаций ВСЗП составляет 2921 ± 55 млн лет (Svetov et al., 2001). При изучении коматиитового разреза Хаутаваарской структуры был определен возраст терригенных цирконов из осадочных прослоев (мафитовых граувакк), равный $2917,2 \pm 8,7$ млн лет (Светов и др., 2010), который может являться древним ограничением времени формирования высокомагнезиальных комплексов.

Таким образом, на основании вышеприведенных геохронологических данных можно предположить, что коматиит-базальтовые ассоциации Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса формировались асинхронно во временном интервале от 3,0 до 2,9 млрд лет.

Породы коматиит-базальтовых ассоциаций ВСЗП претерпели регионально-метаморфические преобразования от зеленосланцевой до эпидот-амфиболитовой фации андалузит-силлиманитового типа (*Стратиграфия докембрия Карелии...*, 1992). В результате метаморфизма первично-магматические минеральные парагенезы были полностью замещены вторичными, сформированными актинолитовой роговой обманкой, антофиллитом, тремолитом, серпентином, хлоритом, тальком, карбонатом, эпидотом, магнетитом, плагиоклазом. Однако это не повлияло на сохранность первичных магматических структур (гипокристаллической; офитовой; кумулятивной; спинифекс-структуры, представленной реликтами) и текстурных признаков, что позволяет уверенно проводить диагностику фациальных разновидностей вулканических пород.

Высокомагнезиальные вулканисты Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса в соответствии с петрохимическими классификационными требованиями (*Jensen, 1976; Le Bas, 2000; Arndt et al., 2008; Куликов и др., 2012*) могут быть отнесены к коматиит-базальтовой серии (рис. 2, а).

Основными характеристиками высокомагнезиальных вулканистов ВСЗП являются повышенное содержание MgO (в коматиитах варьирует от 18 до 37 вес.%) и пониженное – TiO₂ (0,2-0,7 вес.%) (рис. 2, б), что подтверждает их принадлежность к коматиитовой серии.

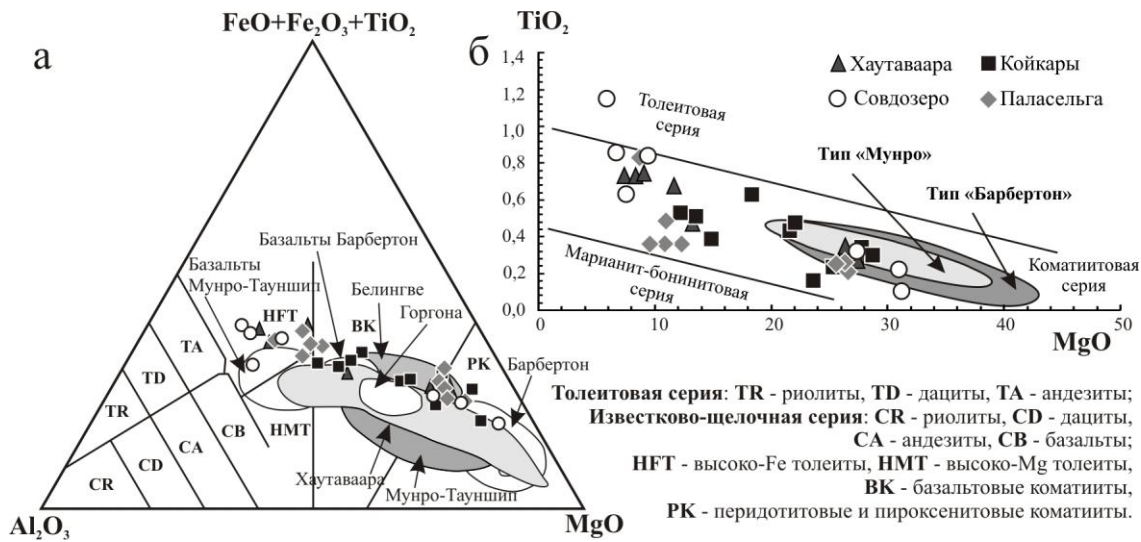


Рис. 2. Геохимическая классификация коматиит-базальтовых ассоциаций Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. *Фрагмент а.* Диаграмма Л. Йенсена (*Jensen, 1976*), в катионных процентах, для коматиитов и базальтов различных структур (*Jochum et al., 1991*). *Фрагмент б.* Диаграмма MgO – TiO₂ (*Коматииты...*, 1988) для коматиит-базальтовой ассоциации изучаемых структур Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. Поля коматиитов типов Мунро и Барбертон приведены по данным работы (*Arndt et al., 2008*)

Для высокомагнезиальных вулканистов коматиитовой серии важными петрогенетическими параметрами являются отношения CaO/Al₂O₃ (среднее значение равно 0,81) и Al₂O₃/TiO₂ (среднее значение равно 21,25) (рис. 3, а и б). На основании данных параметров коматиит-базальтовые ассоциации ВСЗП могут быть отнесены к Al-недеплементированному типу Мунро, что свидетельствует о малоглубинных условиях формирования расплавов в плюмовых обстановках (*Arndt et al., 2008*).

Для коматиитов характерны нефракционированное распределение тяжелых редкоземельных элементов (РЗЭ) (уровень близкий к примитивной мантии (ПМ)) и слабо проявленное обеднение легких РЗЭ (подобно N-MORB-спектру). Коматиитовые базальты и базальты отличаются повышенным уровнем содержания РЗЭ (в 2-3 раза превышающим ПМ) и слабым обогащением легких РЗЭ (*Светов, 2005*).

Вышеприведенная геохимическая характеристика пород коматиит-базальтовой серии составлена с учетом результатов более 300 химических анализов пород Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса, представленных в работе (*Светов, 2005*).

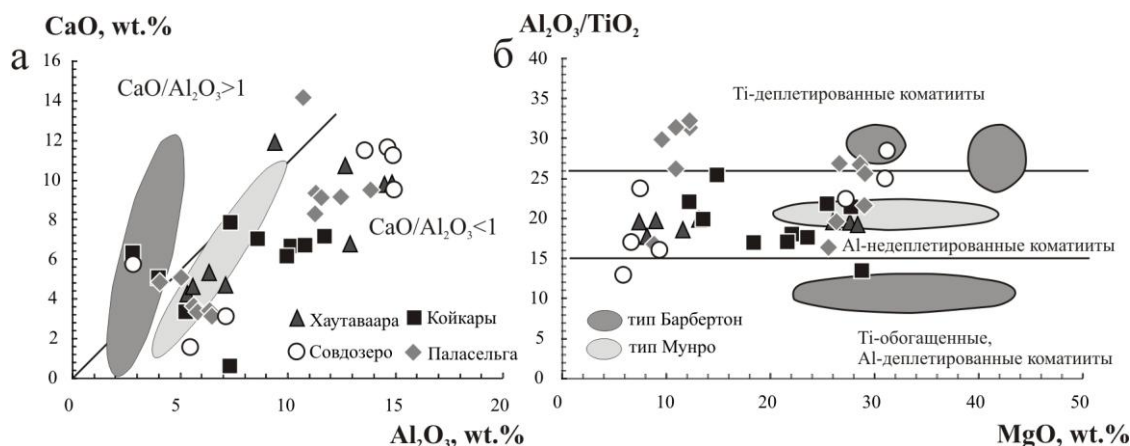


Рис. 3. Диаграммы $Al_2O_3 - CaO$ (а) и $MgO - Al_2O_3/TiO_2$ (б) для коматиит-базальтовых ассоциаций Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. Поля коматиитов типов Мурро и Барбертон приведены по данным работы (Arndt et al., 2008)

3. Методы исследования

В процессе определения концентрации рассеянных элементов платиновой группы в мезоархейских вулканитах коматиит-базальтовой серии Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса было проведено дополнительное опробование разрезов Койкарской, Паласельгинской, Совдозерской и Хаутаваарской структур, в результате которого отобрано 40 проб, включающих основные литофациальные разновидности вулканитов для каждой структуры. Проанализированы все разновидности пород коматиит-базальтовой серии, при этом в породах отсутствовала рудная сульфидная минерализация и наблюдалось низкое содержание S (<0,20 вес.%), что подтверждено в ходе петрографического изучения образцов.

Геохимический анализ проб (определение петрогенных, рассеянных элементов) проводился в лаборатории Геологической службы Финляндии (г. Эспоо) с помощью рентген-флуоресцентного метода (sequential x-ray spectrometre system Philips PW1480). Погрешность составляет менее 2 % для элементов с концентрациями выше 0,5 мас.%; 5 % – при концентрациях ниже 30 ppm; 3 % – при концентрациях выше 30 ppm. Элементы платиновой группы (включая Au) определялись пробирным методом с ICP-MS-окончанием в аналитической лаборатории Университета Квебека в Читотими (Laboratoire d'Analyses Géochimiques de l'UQAC) по методике, представленной в работе (Majer et al., 2003). Вес анализируемых проб варьировал от 3 до 6 г.

4. Обсуждение результатов

Проведенные исследования (на основе представительной выборки из 40 проб, объективно отражающей геохимическое и литофациальное разнообразие пород в структурах) показывают, что концентрация элементов платиновой группы, включающей элементы палладиевой подгруппы (ЭППГ) Pt, Pd, Rh и элементы иридиевой подгруппы Os, Ir, Ru (ЭИПГ), в коматиит-базальтовой ассоциации Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса варьирует в значительных интервалах (это относится как коматиитам, так и к коматиитовым базальтам и базальтам) (рис. 4). Для некоторых элементов (Os, Pd, Au) в коматиитах и для большинства элементов в коматиитовых базальтах и базальтах концентрации находятся на пределе чувствительности аналитического метода. Установлены следующие интервалы содержаний: Os < 0,54-3,56 ppb; Ir – 0,14-2,56 ppb; Ru – 0,58-6,31 ppb; Rh – 0,43-1,92 ppb; Pt – 2,74-9,35 ppb; Pd < 0,51-30,69 ppb; Au < 0,73-27,73 ppb. Данные содержания несколько ниже концентраций ЭПГ, характерных для Al-недеплетированных коматиитов типа Мурро (Arndt et al., 2008; Fiorentini et al., 2011).

Породы с содержанием $MgO < 18\%$ (коматиитовые базальты, базальты) по концентрации ЭПГ и Au существенно отличаются от коматиитов (рис. 4). Для них характерны следующие интервалы содержаний ЭПГ: Os < 0,43-1,22 ppb; Ir < 0,03-0,20 ppb; Ru < 0,09-1,15 ppb; Rh < 0,05-1,23 ppb; Pt < 0,51-12,18 ppb; Pd < 0,52-13,20 ppb; Au < 0,77-7,00 ppb. Следует отметить, что концентрации Os, Ir, Ru, Rh в коматиитовых базальтах ниже наблюдаемых концентраций ЭПГ в коматиитах, а содержания Pt, Pd и Au сопоставимы с ними.

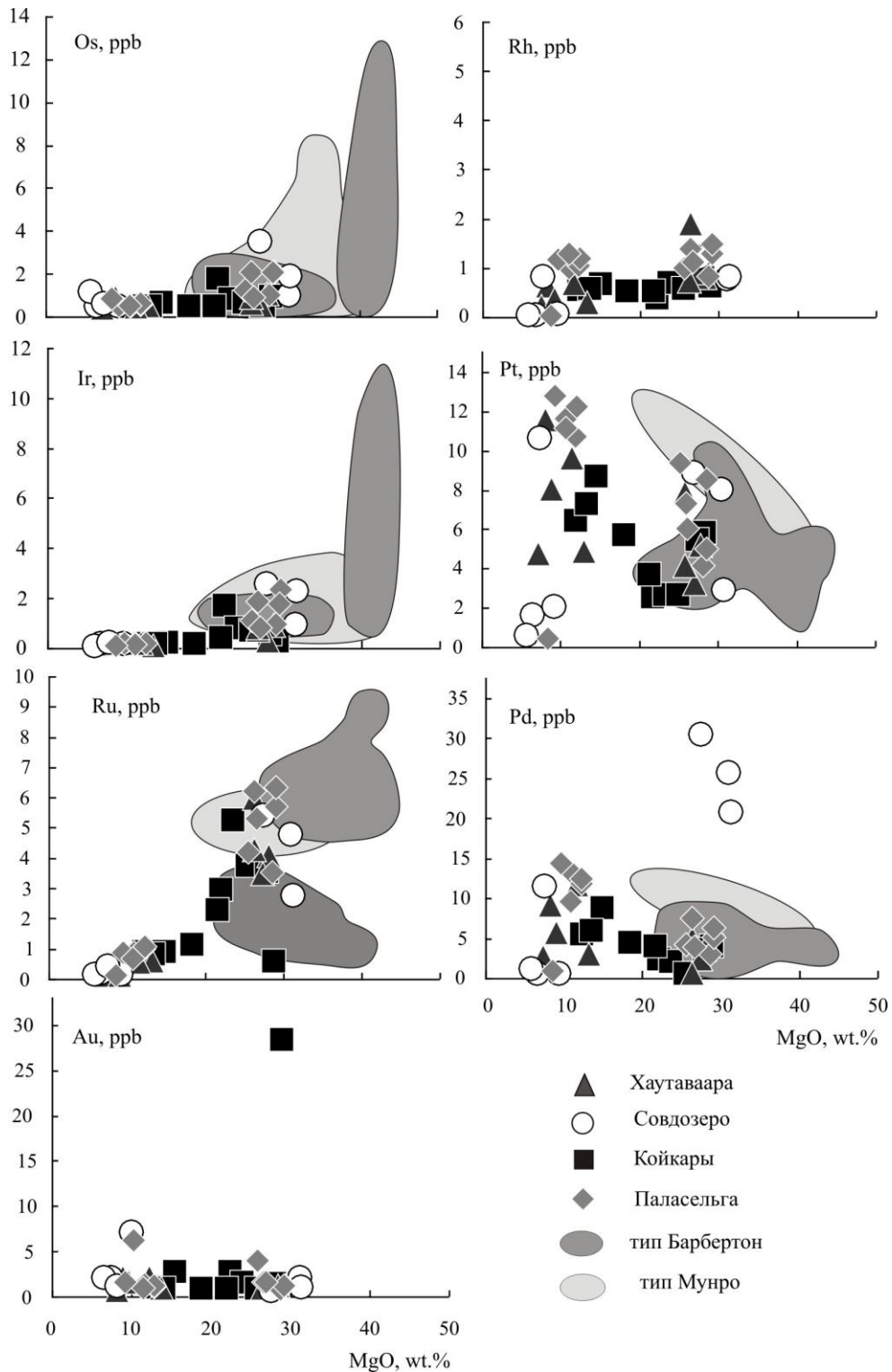


Рис. 4. Диаграммы MgO – Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd и Au для пород коматиит-базальтовых ассоциаций Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. Данные по составу пород зеленокаменного пояса Абитибиды взяты из статьи (Puchtel et al., 2004), зеленокаменного пояса Барбертон – из работ (Maier et al., 2003; Connolly et al., 2011)

Анализ распределения ЭППГ и ЭИПГ в коматиит-базальтовых ассоциациях Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса в сопоставлении с MgO, вес.%, (рис. 4) показывает отсутствие линейной корреляции с характерными для коматиитовых вулканитов трендами "оливинового контроля"

(Arndt et al., 2008), описывающими эволюцию высокомагнезиального расплава при фракционной кристаллизации единственной минеральной фазы – оливина – в широком интервале температур. На диаграммах ЭПГ – MgO подобные тренды отсутствуют. Фигуративные точки формируют две независимые области концентраций: с более высокими содержаниями ЭИПГ – в коматиитах; низкими – в коматиитовых базальтах и базальтах. При сопоставлении литофациальной характеристики коматиит-базальтовых ассоциаций ВСЗП с полученными данными по концентрациям ЭПГ установлен процесс аккумуляции элементов иридиевой подгруппы (Ru, Ir и в меньшей степени Os) в кумулятивных зонах мощных лавовых потоков. Распределение золота в коматиит-базальтовых ассоциациях ВСЗП равномерно низкое; средние содержания (<3 ppb) не зависят от литофациальной характеристики и магнезиальности вулканитов; единственная проба (массивные коматииты Койкарской структуры) из выборки имеет аномальное содержание – 27 ppb.

Сопоставление нормированных к составу примитивной мантии концентраций ЭПГ и Au в коматиит-базальтовой ассоциации (рис. 5) позволяет выявить следующую закономерность: базальты и коматиитовые базальты (в отличие от коматиитов) имеют характерный деплетированный спектр ЭПГ в области ЭИПГ и обогащенный – в ЭППГ (для всех коматиитовых базальтов Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса).

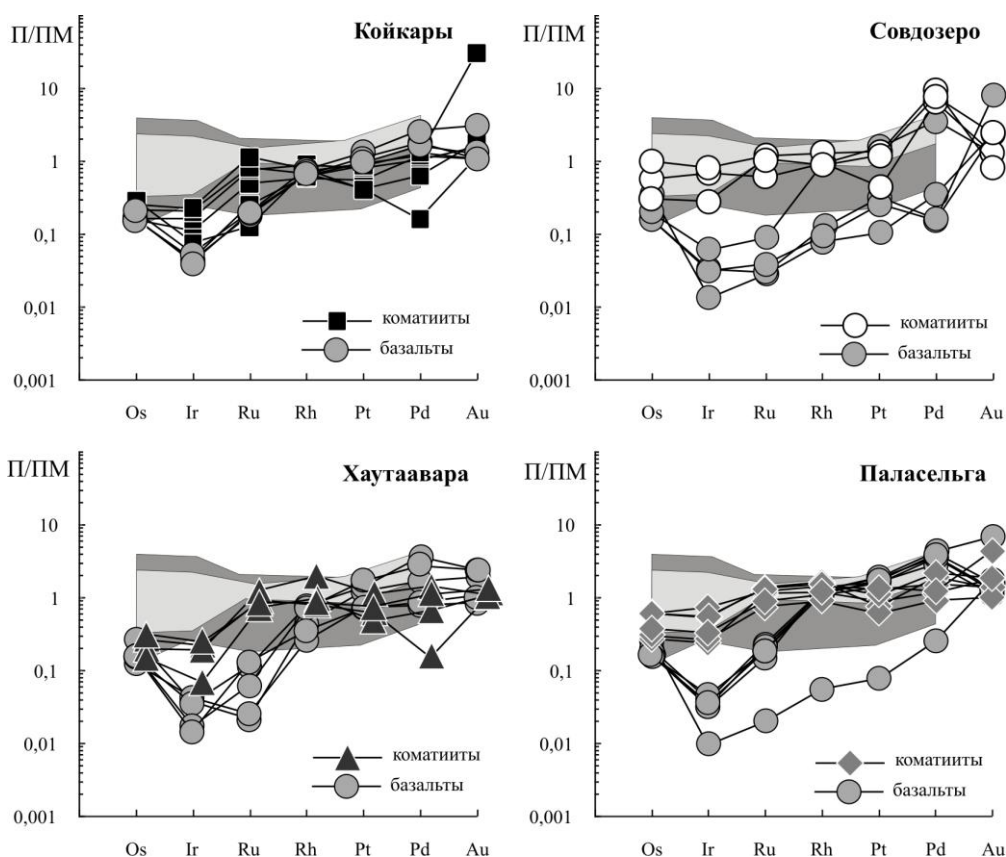


Рис. 5. Распределение элементов платиновой группы, нормированных к составу примитивной мантии (Palme, O'Neill, 2004), в коматиит-базальтовых ассоциациях Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса: светло-серая область – тренд коматиитов зеленокаменного пояса Абитиби, Канада (Puchtel et al., 2004); темно-серая область – тренд коматиитов зеленокаменного пояса Барбертон, ЮАР (Maier et al., 2003; Connolly et al., 2011)

Спектр распределения ЭПГ в коматиитах менее фракционированный и отличается более высокими содержаниями ЭИПГ по сравнению с коматиитовыми базальтами.

В целом для мезоархейских коматиит-базальтовых ассоциаций Центральной Карелии установлены не только низкие концентрации платиноидов и золота в вулканитах различной фациальной разновидности (в сопоставлении с классическими мировыми коматиитовыми сериями А1-недеплетированного и А1-деплетированного типов), но и отсутствие значимой аккумуляции ЭПГ в кумулятивных частях лавовых потоков (так, максимальная разница концентраций ЭПГ между

кумулятивной зоной и зонами спинифекс и кровельных брекчий не превышает 2-3 ppb), что свидетельствует о кристаллизации S-недосыщенных первичных коматиитовых расплавов.

Изучение геохимической характеристики коматиит-базальтовых ассоциаций Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса и их внутрiformационных осадочных парагенезов (имеющих глубоководную природу) (Светов, 2005) показало, что вулканы, вероятно, формировались в протоокеаническом (возможно, задуговом) бассейне и не испытывали влияния значимых контаминационных процессов, следствием чего является формирование обедненных серой первичных высокомагнезиальных расплавов и отсутствие сульфидных фаз при кристаллизации вулкаников.

Минералами-концентраторами ЭПГ в коматиитах и их мантийных источниках, предположительно, служат сульфидные и благородно-металльные самородные фазы (Burton et al., 1999); роль силикатных минералов (оливина), как показало исследование мезоархейских коматиитов Центральной Карелии, минимальна.

5. Заключение

Проанализировав результаты первого этапа изучения распределения платиноидов и золота в высокомагнезиальных вулканиках Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса, можно сделать следующие выводы:

- Al-недеплетированные коматииты и коматиитовые базальты Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса характеризуются в среднем более низкими (нетипичными для данного петрологического типа коматиитов) концентрациями ЭПГ;

- результаты анализа распределения элементов ЭИПГ и ЭППГ в породах коматиит-базальтовой серии свидетельствуют о том, что метаморфические изменения вулкаников (зеленосланцевая эпидот-амфиболитовая фация метаморфизма) не оказали существенного влияния на перераспределение ЭПГ;

- коматиитовые базальты и базальты, в отличие от коматиитов, имеют характерный деплетированный спектр распределения платиноидов в области ЭИПГ и при этом существенно обогащены ЭППГ;

- низкие концентрации платиноидов в мезоархейских коматиитовых расплавах Центральной Карелии, а также отсутствие сульфидных фаз в вулканиках являются индикаторами их первичной "S-недосыщенной" природы;

- распределение ЭПГ в коматиит-базальтовой ассоциации Совдозерской структуры существенно отличается от остальных изучаемых структур по характеру распределения ЭППГ в базальтовых разностях, что, возможно, обусловлено отличительными особенностями условий магмогенеза данного комплекса (данная проблема требует дальнейшего анализа).

Благодарности. Автор выражает благодарность д-ру геол.-мин. наук Светову С.А. за научные консультации и всестороннюю помощь в проведении исследования; профессору Вольфгангу Майеру (Университет Оулу, Финляндия), содействовавшему в проведении комплексных аналитических исследований. Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 13-05-00402.

Литература

- Arndt N.T., Leshner C.M., Barnes S.-J. Komatiite. Cambridge, Cambridge University Press, 467 p., 2008.
- Burton K.W., Schiano P., Birck J.L., Allegre C.J. Osmium isotope disequilibrium between mantle minerals in a spinellherzolite. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, v. 172, p. 311-322, 1999.
- Connolly B.D., Puchtel I.S., Walker R.J., Arevalo R., Piccoli P.M., Byerly G., Robin-Popieul C., Arndt N. Highly siderophile element systematics of the 3.3 Ga Weltevreden komatiites, South Africa: Implications for early Earth history. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, v. 311, p. 253-263, 2011.
- Fiorentini M.L., Barnes S.-J., Maier W.D., Burnham O.V., Heggie G. Global variability in the platinum-group element contents of komatiites. *Journal of Petrology*, v. 52, N 1, p. 83-112, 2011.
- Jensen L.S. A new caption plot for classifying subalkalic volcanic rocks. *Ontario division of mine*, MP66, 22 p., 1976.
- Jochum K.P., Arndt N.T., Hofmann A.W. Nb-Th-La in komatiites and basalts: Constraints on komatiite petrogenesis and mantle evolution. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, v. 107, p. 272-289, 1991.
- Le Bas M.J. IUGS Reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks. *Journal of Petrology*, v. 41, p. 1467-1470, 2000.
- Maier W.D., Roelofse F., Barnes S.-J. The concentration of the platinum-group elements in South African komatiites; implications for mantle sources, melting regime and PGE fractionation during crystallization. *Journal of Petrology*, v. 44, p. 1787-1804, 2003.

- Palme H., O'Neill H.S.C.** Cosmochemical estimates of mantle composition. In: *Treatise on Geochemistry*. Ed. Carlson R.W., Oxford, Elsevier, v. 2, p. 1-38, 2004.
- Puchtel I., Humayun M.** Platinum group elements in Kostomuksha komatiites and basalts: Implications for oceanic crust recycling and core-mantle interaction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 64, N 24, p. 4227-4242, 2000.
- Puchtel I.S., Humayun M., Campbell A.J., Sproule R.A., Leshner C.M.** Platinum group element geochemistry of komatiites from the Alexo and Pyke Hill areas, Ontario, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 68, N 6, p. 1361-1383, 2004.
- Svetov S.A., Svetova A.I., Huhma H.** Geochemistry of the komatiite-tholeiite rock association in the Vedlozero-Segozero Archean greenstone belt, Central Karelia. *Geochemistry International*, v. 39, Suppl. 1, p. 24-38, 2001.
- Библикова Е.В., Крылов И.Н.** Изотопный возраст кислых вулканитов Карелии. *Докл. АН СССР*, т. 268, № 5, с. 1231-1235, 1983.
- Коматииты и высокомагнезиальные вулканиты раннего докембрия Балтийского щита. *Отв. ред. Богатиков О.А. Л., Наука*, 192 с., 1988.
- Куликов В.С., Куликова В.В., Бычкова Я.В.** О классификации ультраосновных-основных высокомагнезиальных вулканитов нормальной и низкой щелочности (новый взгляд на примере Фенноскандии). *Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, ИГ КарНЦ РАН*, № 15, с. 38-44, 2012.
- Светов С.А., Светова А.И., Назарова Т.Н.** Ведлозерско-Сегозерский зеленокаменный пояс Центральной Карелии – новые геохронологические данные и интерпретация результатов. *Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, ИГ КарНЦ*, № 13, с. 5-12, 2010.
- Светов С.А.** Древнейшие адакиты Фенноскандинавского щита. *Петрозаводск, КарНЦ РАН*, 115 с., 2009.
- Светов С.А.** Магматические системы зоны перехода океан – континент в архее восточной части Фенноскандинавского щита. *Петрозаводск, КарНЦ РАН*, 230 с., 2005.
- Светова А.И.** Архейский вулканизм Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Карелии. *Петрозаводск, КарНЦ РАН*, 148 с., 1988.
- Сергеев С.А., Левченков О.А., Арестова Н.А., Яковлева С.З.** Изотопный уран-свинцовый возраст Семченской интрузии габбро-диоритов. *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, № 4, с. 15-21, 1983.
- Стратиграфия докембрия Карелии. Опорные разрезы верхнеархейских отложений. *Петрозаводск, КарНЦ РАН*, 190 с., 1992.

References

- Arndt N.T., Leshner C.M., Barnes S.-J.** Komatiite. Cambridge, Cambridge University Press, 467 p., 2008.
- Burton K.W., Schiano P., Birck J.L., Alle'gre C.J.** Osmium isotope disequilibrium between mantle minerals in a spinellherzolite. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 172, p. 311-322, 1999.
- Connolly B.D., Puchtel I.S., Walker R.J., Arevalo R., Piccoli P.M., Byerly G., Robin-Popieul C., Arndt N.** Highly siderophile element systematics of the 3.3 Ga Weltevreden komatiites, South Africa: Implications for early Earth history. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, v. 311, p. 253-263, 2011.
- Fiorentini M.L., Barnes S.-J., Maier W.D., Burnham O.V., Heggie G.** Global variability in the platinum-group element contents of komatiites. *Journal of Petrology*, v. 52, N 1, p. 83-112, 2011.
- Jensen L.S.** A new caption plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario division of mine, MP66, 22 p., 1976.
- Jochum K.P., Arndt N.T., Hofmann A.W.** Nb-Th-La in komatiites and basalts: Constraints on komatiite petrogenesis and mantle evolution. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, v. 107, p. 272-289, 1991.
- Le Bas M.J.** IUGS Reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks. *Journal of Petrology*, v. 41, p. 1467-1470, 2000.
- Maier W.D., Roelofse F., Barnes S.-J.** The concentration of the platinum-group elements in South African komatiites; implications for mantle sources, melting regime and PGE fractionation during crystallization. *Journal of Petrology*, v. 44, p. 1787-1804, 2003.
- Palme H., O'Neill H.S.C.** Cosmochemical estimates of mantle composition. In: *Treatise on Geochemistry*. Ed. Carlson R.W., Oxford, Elsevier, v. 2, p. 1-38, 2004.
- Puchtel I., Humayun M.** Platinum group elements in Kostomuksha komatiites and basalts: Implications for oceanic crust recycling and core-mantle interaction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 64, N 24, p. 4227-4242, 2000.

- Puchtel I.S., Humayun M., Campbell A.J., Sproule R.A., Leshner C.M.** Platinum group element geochemistry of komatiites from the Alexo and Pyke Hill areas, Ontario, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 68, N 6, p. 1361-1383, 2004.
- Svetov S.A., Svetova A.I., Huhma H.** Geochemistry of the komatiite-tholeiite rock association in the Vedlozero-Segozero archean greenstone belt, Central Karelia. *Geochemistry International*, v. 39, Suppl. 1, p. 24-38, 2001.
- Bibikova E.V., Kryilov I.N.** Izotopnyiy vozrast kislyih vulkanitov Karelii [Isotopic age of acid vulcanites of Karelia]. *Dokl. AN SSSR*, t. 268, N 5, p. 1231-1235, 1983.
- Komatiiti i vyisokomagnezialnyie vulkanityi rannego dokembriya Baltiyskogo schita [Komatiites and high-Mg volcanic rocks of the Early Precambrian of the Baltic Shield]. *Otv. red. Bogatikov O.A. L., Nauka*, 192 p., 1988.
- Kulikov V.S., Kulikova V.V., Byichkova Ya.V.** O klassifikatsii ultraosnovnyih-osnovnyih vyisokomagnezialnyih vulkanitov normalnoy i nizkoy shelochnosti (novyy vzglyad na primere Fennoskandii) [On the classification of the ultrabasic-basic high-Mg-ultramafic volcanics rocks of normal and low alkalinity (a new look on the example of Fennoscandia)]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii. Petrozavodsk. IG KarNTs RAN*, N 15, p. 38-44, 2012.
- Svetov S.A., Svetova A.I., Nazarova T.N.** Vedlozersko-Segozerskiy zelenokamennyiy poyas Tsentralnoy Karelii – novyye geohronologicheskie dannyye i interpretatsiya rezultatov [Vedlozero-Segozero greenstone belt, Central Karelia – new geochronological data and interpretation of results]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii. Petrozavodsk, IG KarNTs*, N 13, p. 5-12, 2010.
- Svetov S.A.** Drevneyshie adakityi Fennoskandinavskogo schita [The oldest adakites of the Fennoscandian Shield]. *Petrozavodsk, KarNTs RAN*, 115 p., 2009.
- Svetov S.A.** Magmaticheskie sistemyi zonyi perehoda okean – kontinent v arhee vostochnoy chasti Fennoskandinavskogo schita [Magmatic systems of the transition zone ocean – continent in the Archean eastern Fennoscandian Shield]. *Petrozavodsk, KarNTs RAN*, 230 p., 2005.
- Svetova A.I.** Arheyskiy vulkanizm Vedlozersko-Segozerskogo zelenokamennogo poyasa Karelii [Archean volcanism of Vedlozero-Segozero greenstone belt of Karelia]. *Petrozavodsk, KarNTs RAN*, 148 p., 1988.
- Sergeev S.A., Levchenkov O.A., Arestova N.A., Yakovleva S.Z.** Izotopnyiy uran-svintsovyiy vozrast Semchenskoy intruzii gabbro-dioritov [Isotope uranium-lead age of Semchenskoy intrusion of gabbro-diorite]. *Izv. AN SSSR. Ser. geol.*, N 4, p. 15-21, 1983.
- Stratigrafiya dokembriya Karelii [Stratigraphy of Precambrian Karelia]. *Opornyie razrezyi verhnearheyskiikh otlozheniy. Petrozavodsk, KarNTs RAN*, 190 p., 1992.

Информация об авторе

Рыбникова Зоя Павловна – Институт геологии Карельского научного центра РАН, аспирант,
e-mail: zoya_rybnikova@mail.ru

Rybnikova Z.P. – Institute of Geology, Karelian Science Centre RAS, Ph.D. Student,
e-mail: zoya_rybnikova@mail.ru