

Д. Н. Салихов, П. В. Казаков

ПЕТРО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОРДОВИКСКИХ ВУЛКАНИТОВ ЗОНЫ МЕЛАНЖА ГЛАВНОГО УРАЛЬСКОГО РАЗЛОМА

Вулканогенные толщи нижнего палеозоя на Южном Урале контролируются преимущественно меланжевой зоной ГУР, где представлены разновеликими блоками в серпентинитовой матриксе. Корреляция этих образований преимущественно по конодонтовой фауне (и определениям абсолютного возраста) позволила переоценить палеогеографию и особенности латеральных изменений состава вулканитов. Важнейшим результатом этих исследований явилось установление обширного проявления габбро-базальтоидного магматизма в среднем и позднем ордовике. Начало этого этапа, проявившегося локально, касается кембрийско-раннеордовикских образований (Є–O₁), а завершение ордовикского вулканизма произошло в начале силура (S₁) — дергайшская свита на юге Вознесенско-Присакмарской структурно-фациальной зоны.

Наиболее мощный разрез (1600 м) ордовика, известный как поляковская свита, изучен на севере зоны (с. Поляковка) в Учалинском рудном районе. Вулканиды свиты представлены базальтами, андезибазальтами, трахибазальтами, трахиандезибазальтами, перемежающимися с кремнистыми породами. В меньшем объеме представлены пикриты, трахиандезиты, трахидациты, дациты. В кремнистых осадках поляковской свиты установлены конодонты, достоверно относящиеся к лланвирнскому ярусу среднего ордовика (совместное присутствие *Pygodus anserinus* и *Periodon aculeatus*) и низам карадокского яруса верхнего ордовика (*P. aculeatus* Hadding) [Маслов, Артющкова, 2000; Маслов и др., 2008; Мавринская, 2011]. Мнение о более широком диапазоне этого разреза вплоть до полного объема ордовика [Борисенко и др., 1998; Иванов и др., 1989; Дубинина, 2008; Рязанцев, 2012; Рязанцев и др., 2007] названными выше исследователями считается недостаточно обоснованным. Распространение ордовикских образований в Вознесенско-Присакмарской зоне ограничивается на севере широтой оз. Аушкуль, а на юге — с. Уразово. Южнее фаунистически подтвержденный ордовик известен в районе д. Байгускарово в яшмах среди базальтов с отпечатками конодонтов лланвирн-карадокского возраста.

Южнее, в Медногорском рудном районе Сакмарской зоны, не менее мощный разрез ордовика (до 800–1500 м), известный как баулуская толща (O₂₋₃bl), впервые выделенная В.Т. Тищенко и др.

[1988ф; Маслов и др., 1993], хорошо изучен, в том числе глубокими поисково-разведочными и структурными скважинами на Блявинском и Комсомольском месторождениях. Типовой разрез толщи представлен лавами и лавобрекчиями базальтов, кварцевых долеритов и оливиновых пикритовидов с прослоями сургучно-красных глинисто-кремнистых сланцев, алевролитов, аргиллитов и яшмоидов. В некоторых разрезах мощность вулканитов достигает 1500 м. По конодонтовой фауне баулуская толща соответствует среднему — верхнему отделам ордовика [Артющкова, Маслов, 2011]. По материалам геологического доизучения, проведенного Н.Т. Видюковым [Кондратенко, 1995ф], баулуская (и дубоводольская) толщи В.Т. Тищенко рассматриваются в составе кураганской свиты в объеме верхнего аренига среднего ордовика — ашгильского яруса верхнего ордовика.

Особенности химического состава вулканогенных пород

По петрохимическим особенностям [Салихов, 2003ф; Салихов, 2004] вулканогенные образования поляковской свиты характеризуются калий-натриевым субщелочным составом (рис. 1). Все породы комплекса имеют высокую титанистость: наиболее всего распространены породы с содержанием окиси титана от 1,5 до 2,6%, в 15–18% объема вулканитов количество окиси титана превышает 2,6%, достигая уровня 3,48%, а в 3–7% объема разрезов окись титана присутствует в умеренно высоких значениях — 0,70–1,15%.

Вулканиды отвечают кварцевым толеитам, толеитам и щелочным базальтам. Названные три типа базальтов присутствуют во всех частях разреза поляковской свиты. Вместе с тем в верхней части разреза резко преобладают кварцевые толеиты, которые сменяются ниже областью широкого развития щелочных базальтов, переслаивающихся с кварцевыми толеитами. Ниже в разрезе преобладают толеиты, переслаивающиеся с кварцевыми толеитами, которые имеют подчиненные количества, и в редких случаях — со щелочными базальтами.

В целом базальтоиды поляковской свиты являются калий-натриевыми. Две трети проанализированных пород отвечают калий-натриевому типу и одна треть — натриевому.

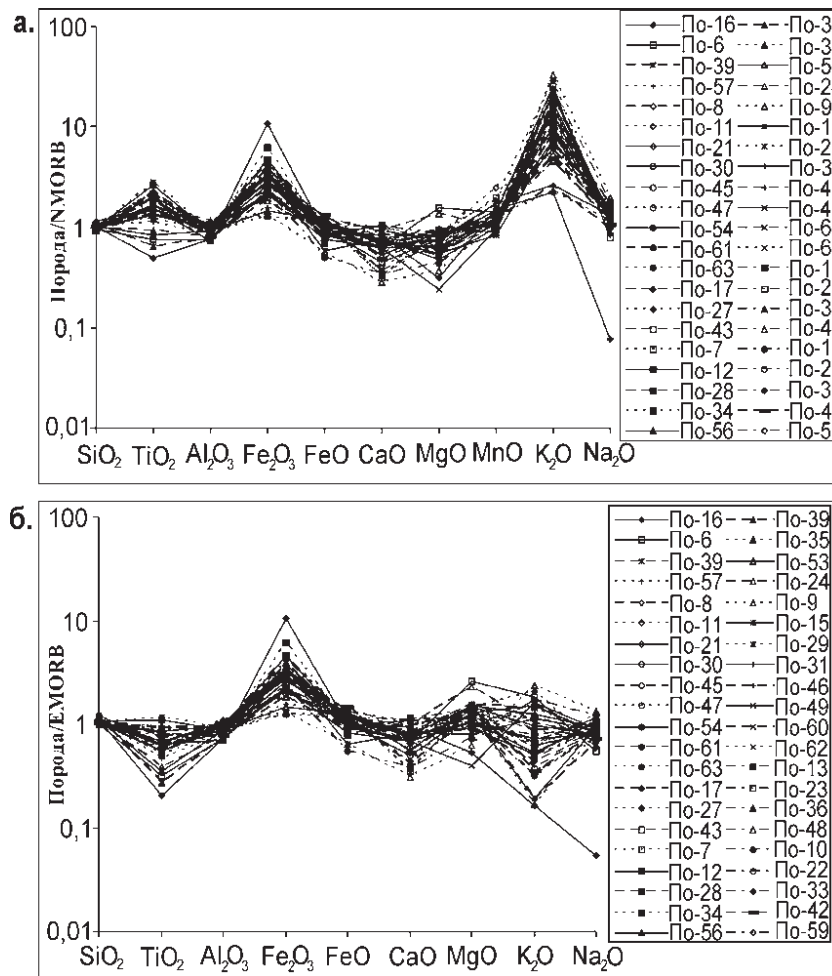


Рис. 1. Петрохимическая характеристика вулканогенных пород поляковской свиты: а — относительно N-MORB; б — относительно E-MORB

Такие же соотношения отмечаются по содержанию глинозема: одна треть — низкоглиноземистые породы (Al_2O_3 12–14%) и две трети — умеренно- и высокоглиноземистые (Al_2O_3 14,5–18,5%).

подавляющее большинство пород отвечает высокожелезистому типу. В единичных образцах количество магнезии несколько возрастает (до 9% в абсолютных значениях), но в связи с высоким значением суммарного железа (до 14%) коэффициент железистости остается на уровне ниже 0,7.

Оценивая рассматриваемые породы по количеству редких земель [Салихов, Бабуров, 1999] (рис. 2), отметим, что в них количество тяжелых РЗЭ ниже, чем в толеи-

тах всех геодинамических обстановок. Но в некоторых пробах гольмий и диспрозий достигают уровня океанических толеитов. Количество других элементов постепенно возрастает, и значительно интенсивнее, чем уровень содержания их в континентальных

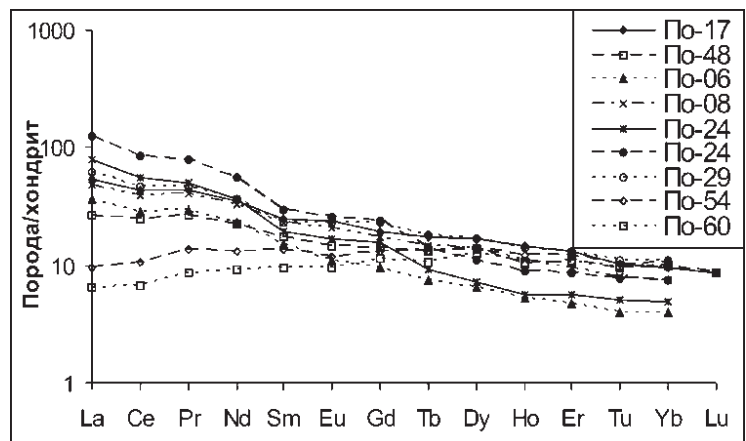


Рис. 2. Распределение РЗЭ в базальтах ордовика (поляковская свита)

толеитах. Таким образом, спектр РЗЭ больше напоминает тренд рисунка известково-щелочных базальтов. Максимальные содержания тяжелых РЗЭ характерны для пород нижней и средней частей разреза поляковской свиты. Вулканогенные породы верхней части разреза обеднены тяжелыми РЗЭ. Подавляющая часть анализов рассматриваемых пород имеет высокие содержания иттербиевой и цериевой групп РЗЭ. К ним относятся вулканиты, соответствующие средней и верхней частям разреза. Вместе с тем базальты основания разреза обеднены редкими землями.

Наиболее характерными рассеянными элементами вулканогенных пород (рис. 3) поляковской

свиты являются редкие щелочи. Так, рубидий и цезий в них на 2–3 порядка выше, чем в океанических базальтах N-типа.

Литий также присутствует в повышенном количестве, но в значениях в 1,2–2,1 раза превышает те же базальты N-типа. Сходно поведение рассеянных щелочноземельных элементов: стронций повышен в несколько раз, барий — в сотни раз, бериллий также повышен относительно базальтов N-типа. В рассматриваемых породах в несколько раз повышены содержания ниобия, тантала, урана, тория, ванадия, а напротив, такие элементы, как хром, кобальт, никель обнаружены в количествах более низких, чем в базальтах N-типа СОХ.

Доминирующим типом вулканогенных пород ордовикского возраста Медногорского района являются кварцевые толеитовые базальты (рис. 4). Среди них присутствуют оливинсодержащие базальты, в которых нередко отмечается нормативный нефелин (0,2–2%). Большая часть проанализированных пород отвечает натриевому типу. В подчиненном количестве присутствуют калий-натриевые разновидности базальтов. Количества щелочей

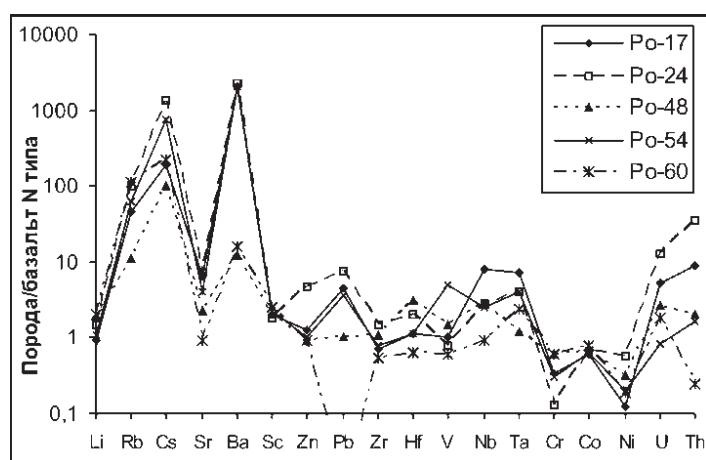


Рис. 3. Распределение редких и рассеянных элементов в базальтах ордовика (поляковская свита)

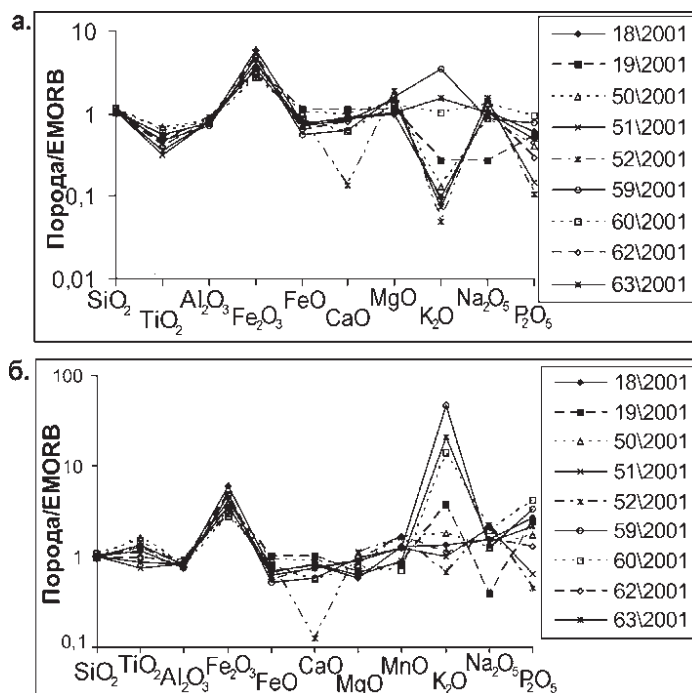


Рис. 4. Петрохимическая характеристика базальтов ордовика Медногорского района: а — относительно N-MORB; б — относительно E-MORB

в них повышены, но соответствуют верхнему пределу содержания щелочей в толеитовых базальтах. Часть базальтов (около 35%) имеет субщелочной состав. Все породы ордовика характеризуются повышенной титанистостью (0,9–2%). Важной петрохимической особенностью пород является очень низкое содержание глинозема, которое в подавляющем количестве анализов колеблется в пределах 11,98–13,8%. В этих разновидностях пород всегда повышенные значения суммы железа (от 10 до 13%). Кроме того, в целом рассматриваемые вулканиты имеют умеренные значения окиси магния, количество которой варьирует в основном от 6 до 8%, хотя отклонения в ту и другую сторону имеют место. В целом коэффициенты магнезиальности в высоко- и низкотитанистых базальтах низки (0,2–0,35), а в умереннотитанистых этот коэффициент возрастает ($K_{Mg} = 0,4–0,48$).

По распределению редкоземельных элементов (рис. 5) базальты ордовика Медногорского района представлены двумя геохимическими группами. Одна из них характеризуется повышенными значениями всех редкоземельных элементов, в том числе и тяжелых. Другой, напротив, характерны более низкие значения всех компонентов названной группы, при этом тяжелые (иттербиевая группа) и большая часть легких элементов (цериевая группа) имеют более низкие значения, чем 10-кратный хондритовый уровень, а средние (тербиевая группа) элементы находятся в пределах этого уровня или несколько превышают его. Первая геохимическая группа, выделенная по содержанию редких земель, характеризуется, кроме того, высокой железистостью с суммой железа выше 12,5%.

Распределение рассеянных элементов (рис. 6) в рассматриваемых базальтах отличается высокими значениями редких щелочей и щелочных земель, особенно рубидия, цезия и бария. В них стабильно высокие количества ниобия и тантала, повышенные содержания гафния, ванадия, урана, повышенные,

но переменные значения тория. В то же время в них низкие количества хрома, кобальта, никеля.

Нет однозначного видения формационной принадлежности ордовикских базальтов [Салихов, 2008]. Высказывается мнение о том, что геохимические характеристики поляковской свиты отвечают базальтам СОХ. Согласно нашим материалам проводить такую аналогию нет убедительных оснований. Базальты Магнитогорской зоны преимущественно субщелочные, т.е. характеризуются повышенным количеством оксида натрия, но нередко в них также повышено содержание оксида калия, что противоречит составам базальтов СОХ. Базальты региона более железистые и менее магнезиальные относительно океанических базальтов. Наконец, в распределении редких и рассеянных элементов отмечаются не свойственные базальтам СОХ высокие содержания литофильных компонентов — стронция, иттрия и гафния. Благодаря отсутствию геохимической общности рассматриваемых базальтов с базальтами СОХ даже появился термин «субокеанический тип» [Косарев, 1997] для ордовикско-силурийских вулканитов Урала и петрологическое объяснение формирования таких базальтов как «щелевых» офиолитов с выплавлением расплава на разных глубинах, в том числе и большой, в неистощенной мантии [Пучков, 2000].

С.Е. Знаменский [1994], проанализировавший петрохимические данные И.С. Анисимова [1982ф], детально опробовавшего «эталонный» вулканогенный разрез поляковской свиты севернее д. Поляковка, объединил их в два комплекса: «1) западный (возможно, нижний), базальты которого по петрохимическим параметрам соответствуют характеристикам толеитов континентальных рифтов или стратоидной серии Афара; 2) восточный (верхний?), объединяющий базальты, близкие по составу к вулканитам осевой зоны Красноморского рифта».

Сравнительный анализ ордовикских базальтов меланжевой зоны ГУР

Базальты, фаунистически датированные средним – поздним ордовиком, изучены в разных частях сутурной зоны ГУР: на севере Вознесенско-Присакмарской зоны (поляковская свита в Учалинском рудном районе) и в 350–400 км южнее в Сакмарской зоне

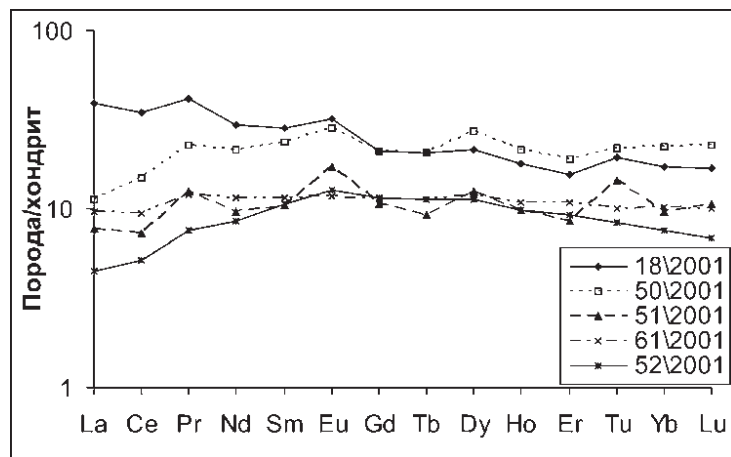


Рис. 5. Распределение РЗЭ в вулканогенных породах ордовика (баулуская толща) Медногорского района

(баулуская толща в Медногорском рудном районе). Доминирующим типом пород в обоих объектах являются субщелочные базальты, присутствуют толеитовые базальты и в резко подчиненном объеме есть щелочные базальты. Большая часть их относится к калий-натриевого типу. Натриевые базальты присутствуют в обоих объектах, но объемы их всегда незначительные и преобладают они в Медногорском районе. В поляковской свите Учалинского района натриевые толеитовые базальты развиты более всего в основании разреза, хотя и здесь присутствуют калий-натриевые разновидности и высококалиевые щелочные базальты, которые переслаиваются друг с другом. На других гипсометрических уровнях разреза натриевые базальты также присутствуют, но в резко подчиненном количестве. Другой важной геохимической особенностью рассматриваемых базальтов является высокая титанистость. Среди них выделяются разновидности с очень высокими значениями оксида титана, которые составляют 1,5–3,2%, умеренно высокими значениями — 0,9–1,5% и низкими значениями — 0,6–0,9%. Повышение содержания титана в породах влечет за собой увеличение суммы железа, которая иногда достигает 15%. Одновременно увеличивается количество магнезии (до 9%). При этом общий высокий коэффициент железистости свойственен всем типам пород.

Базальты ордовика изучаемых объектов характеризуются пониженными значениями магнезии, кремнезема и глинозема. С учетом высокой щелочности и железистости данные толеиты рассматриваемого региона по этим петрохимическим показателям не тождественны базальтам MORB. Правда, базальты толеитовой толщи имеют довольно широкий диапазон количественных вариаций и магнезии, и кремнезема, и глинозема, но и они отличаются от толеитов СОХ повышенным титаном.

Неадекватный характер распределения редких земель в рассматриваемых объектах также проявлен отчетливо. Так, в базальтах Медногорского района тяжелые редкие земли, включая и средние, характеризуются содержаниями, превышающими хондритовые нормы в 15 и менее раз. Хондрит-нормализованные спектры РЗЭ от тяжелого лютеция до гадолиния включительно образуют достаточно выдержанный горизонтальный тренд. Начиная с европия, во многих пробах количество редких земель начинает

снижаться, и лишь в одной пробе отмечается незначительное их увеличение.

Ордовикские вулканиды поляковской свиты по количественному содержанию РЗЭ резко отличаются от базальтов Медногорского района. Наиболее тяжелый лютеций по уровню накопления составляет в них менее чем 10-кратное количество хондритовой нормы. Хондрит-нормализованный спектр РЗЭ в вулканидах поляковской свиты с пологим наклоном увеличивается в сторону легких элементов, достигая максимума для лантана.

Количество лантана в рассматриваемых базальтах достигает 40–90-кратного увеличения относительно хондрита. Вместе с тем в некоторых пробах устанавливается постепенное уменьшение до 8–10-кратного количества от хондритовой нормы самария и лантана.

Характер распределения РЗЭ в базальтах ордовика в разных частях зоны ГУР указывает на разную степень деплетированности области магмогенерации. Все это, в свою очередь, свидетельствует о том, что области магмогенерации, рассмотренные в работе, обособлены друг от друга и не ограничивались только мантийным уровнем, а в магмогенерацию были вовлечены, кроме того, породы габбро-базальтового слоя.

Распределения редких и рассеянных элементов в изученных базальтах также показательны. В них отмечаются высокие значения редких щелочей и щелочноземельных элементов. Трудно объяснить эту геохимическую особенность пород без постулата о вовлечении в область генерации исходной для них магмы габбро-базальтоидного корового слоя. Сходное положение связано с ванадием и ураном. Содержание ванадия в базальтах ордовика высокое. Вместе с тем в вулканогенных породах поляковской свиты содержание ванадия нестабильное: от 0,7 до 7-кратного его количества от базальтов N-типа. Уран в изученных объектах повышен, но отмечается широкий диапазон его вариаций. Торий, так же как ниобий, тантал, гафний, таллий, не стабилен

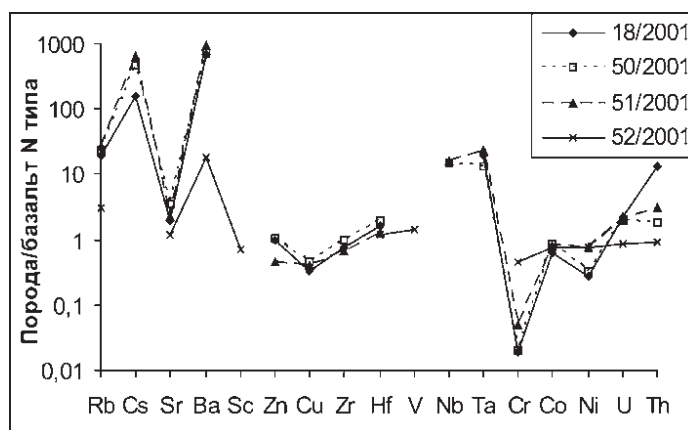


Рис. 6. Распределение редких и рассеянных элементов в вулканогенных породах ордовика (баулуская толща) Медногорского района

и распределен как выше, так и ниже, чем в базальтах N-типа, но без четко выраженной площадной закономерности. Все это также свидетельствует в пользу обособленности исходных магматических расплавов вулканогенных комплексов разных географических широт и различной глубины магмогенерации.

Важной геохимической особенностью ордовикских базальтов в исследованных объектах являются очень низкие содержания хрома, в меньшей степени кобальта, никеля и циркония, высокие абсолютные значения которых, как известно, свойственны океаническим базальтам.

Кроме вышеизложенных особенностей петро-геохимического состава ордовикских вулканитов зоны ГУР обращает на себя внимание следующее. При общей низкой глиноземистости, повышенной титанистости и высокой железистости эти показатели заметно повышаются с юга на север, от вулканитов баулуской толщи в Медногорском районе к вулканитам поляковской свиты в Учалинском районе. Интересно, что в результате исследований петрохимии офиолитов ГУР такая же тенденция увеличения глиноземистости гипербазитов с юга на север, от Кемпирсайского массива к Нуралинскому, была отмечена Н.А. Панеях и С.Ф. Соболевым [1987]. Этими же авторами по комплексу факторов (в том числе по понижению степени метаморфизма горных пород массивов с юга на север) сделан вывод о различной глубине формирования магматических очагов, уменьшавшейся в этом направлении, и развитии зоны спрединга на Южном Урале с юга на север.

Таким образом, петрохимические особенности, особенности геохимического распределения РЗЭ, редких и рассеянных элементов ордовикских базальтов в различных частях зоны ГУР указывают на разную степень деплетированности областей магмогенерации, обособленность их друг от друга, различную их глубину и вовлечение в магмогенерацию, кроме мантийного уровня, пород габбро-базальтового корового слоя.

По формационной принадлежности с учетом вышеприведенных петро-геохимических особенностей формирования кремнисто-базальтовых толщ ордовика зоны ГУР они могут быть отнесены к континентальным рифтогенным глубоководным образованиям.

Литература:

Артюшкова О.В., Маслов В.А. Ордовик Сакмарской зоны (Южный Урал) // Геологический сборник № 9 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа, 2011. – С. 19–25.

Борисенок В.И., Курковская Л.А., Рязанцев А.В. Ордовикские конодонты в кремнисто-базальтовом комплексе Южного Урала (результаты научно-исследовательских работ на Уральском учебном полигоне) // Вестник МГУ. Сер. 4: Геология. – 1998. – № 3. – С.52–55.

Дубинина С.В. Стратиграфия ордовика Южного Урала по конодонтам // Новости палеонтологии и стратиграфии. – 2008. – Т. 49. – С. 110–114. – (Приложение к журналу «Геология и геофизика»; Вып. 10–11).

Знаменский С.Е. Позднеордовикско-раннесилурийский вулкано-интрузивный комплекс северной части Магнитогорского мегасинклинория и связанное с ним оруденение (Ю. Урал): Препр. / РАН. Уфимский науч. центр. Ин-т геологии. – Уфа, 1994. – 20 с.

Иванов К.С., Пучков В.Н., Наседкина В.А., Пелевин И.А. Первые результаты ревизии стратиграфии поляковской свиты по конодонтам // Ежегодник–1988 / ИГГ УрО РАН. – Свердловск, 1989. – С. 12–13.

Косарев А.М. Субокеанические базальты на Южном Урале // Магматизм, метаморфизм и глубинное строение Урала: Тез. Докл. / VI Уральск. петрогр. совещ. – Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 1997. – Ч. 2. – С. 29–30.

Мавринская Т.М. Корреляция ордовикских отложений Южного Урала по конодонтовой фауне // Геологический Сборник № 9 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа, 2011. – С. 14–18.

Маслов В.А., Артюшкова О.В. Стратиграфия палеозойских образований Учалинского района Башкирии / ИГ УНЦ РАН. – Уфа, 2000. – 140 с.

Маслов В.А., Артюшкова О.В., Якупов Р.Р., Мавринская Т.М. Проблемные вопросы стратиграфии нижнего и среднего палеозоя Южного Урала // Геологический сборник № 7 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. – С. 193–204.

Маслов В.А., Черкасов В.Л., Тищенко В.Т. и др. Стратиграфия и корреляция вулканогенных комплексов основных медноколчеданных районов Южного Урала / УНЦ РАН. – Уфа, 1993. – 216 с.

Панеях Н.А., Соболев С.Ф. Петрохимические типы офиолитов Южного Урала // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1987. – № 7. – С. 36–50.

Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. – Уфа: Даурия, 2000. – 146 с.

Рязанцев А.В. Ордовикские структурно-вещественные комплексы западной части Магнитогорской мегазоны и краевые аллохтонов Южного Урала: строение и обстановки формирования: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – М., 2012. – 29 с.

Рязанцев А.В., Дубинина С.В., Кузнецов Н.Б. и др. Вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи ордовика Южного Урала. // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – С. 372–394.

Салихов Д.Н. Составы базальтов кембрия, ордовика и раннего силура на Южном Урале // Геологический сборник № 4 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2004. – С. 106–121.

Салихов Д.Н. Офиолиты и оруденение в зоне Главного Уральского разлома // Геологический сборник № 7 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. – С. 126–134.

Салихов Д.Н., Бабуров А.В. Редкоземельные элементы в ордовикских эффузивах Учалинского сегмента Вознесенско-Присакмарской меланжевой зоны // Ежегодник–1997 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа, 1999. – С. 211–214.