

РИФЕЙСКИЙ МАГМАТИЗМ И РУДООБРАЗОВАНИЕ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ РАСКРЫТИЮ УРАЛЬСКОГО ПАЛЕООКЕАНА (ЗАПАДНЫЙ СКЛОН ЮЖНОГО УРАЛА)

© 2017 г. В. В. Холоднов*, Г. Б. Ферштатер*, Е. С. Шагалов***, Г. Ю. Шардакова*. **

*Институт геологии и геохимии УрО РАН
620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15
E-mail: holodnov@igg.uran.ru

**Уральский государственный горный университет
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Поступила в редакцию 17.05.2016 г.

Принята к печати 10.06.2016 г.

Проведен анализ состава и рудоносности магматических пород нижнего и среднего рифея в рифтогенных структурах Башкирского мегантиклинория (БМА) с привлечением данных по ряду соседних сегментов западного склона Ю. Урала. Установлена эволюция составов во времени – от пород с геохимическими параметрами типа OIB (трахибазальты месторождения Сибирка) и пород, близких E-MORB (вулканиты машакской свиты, базиты и гранитоиды кусинско-копанского комплекса, силлово-дайковые рои и др.), – в направлении к N-MORB (наязямские амфиболиты). Этот факт коррелирует с изменением изотопно-геохимических параметров. Первичные отношения изотопов Nd в магматических породах и связанных с ними рудно-метасоматических образованиях меняются от отрицательных значений, характерных для производных зрелой континентальной коры, до положительных величин $\epsilon Nd = +4...+5$, отражая увеличение степени деплетирования рифейско-вендской литосферной мантии и эволюцию магматических и флюидных источников во времени. Указанные закономерности для возрастного диапазона 1750–1200 млн лет, а также данные по изотопии Nd и Sr для магматитов последующих этапов формирования континентальной коры Уральского орогена свидетельствуют о возможном раскрытии океанического бассейна к востоку от Восточно-Европейской платформы, начиная еще со второй половины среднего рифея. В границах БМА этому предшествовало формирование рифтовых структур типа Красного моря. Одна из таких структур (Кувашско-Наязямский рифт-грабен) на территории БМА была относительно короткоживущей и закрылась в течение интервала 1250–1150 млн лет.

Ключевые слова: *рифтогенез, нижний и средний рифей, магматизм, Уральский палеоокеан, рудогенез.*

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о длительности, месте и времени раскрытия Уральского палеоокеана до сих пор является дискуссионным. Согласно одному из наиболее распространенных представлений его история начинается со среднего ордовика. В этот период произошел раскол Евроазиатского палеоконтинента и начался океанический спрединг. Этому предшествовало длительное (в течение всего рифея и кембрия) протекание процессов рифтогенеза в пределах этого палеоконтинента (Иванов К.С., 1998; Тектоника..., 1977; и др.). Согласно другой точке зрения (Душин, 1997; Кузнецов и др., 2005; Нечухин и др., 2012; Пучков, 2010; и др.), Уральский палеозойский ороген развивался на месте более ранних океанических структур Протоуральского океана, который прекратил свое существование в венде-кембрии, и на его месте сформировался Тиманский коллизионный ороген. В ордовике произо-

шло заложение серии новых рифтов, распад новообразованного континента и формирование Уральского палеоокеана. Третья концепция предполагает существование океанического бассейна к востоку от ВЕП на протяжении рифея, венда, раннего и среднего палеозоя. В рамках этой концепции существуют различные модели и представления. Считается, например (Зоненшайн и др., 1990; Самыгин и др., 2010; Scarrow et al., 2001; и др.), что восточный край ВЕП на всем протяжении позднего протерозоя был пассивной окраиной, к которой в кембрии были аккретированы допалеозойские микроконтиненты и океаническая кадомская островная дуга. По данным А.В. Маслова (Маслов и др., 2001; и др.), крупный перикратонный бассейн, охвативший всю восточную и северо-восточную периферию ВЕП, возник ближе к концу позднего рифея. С этого времени положение восточной окраины ВЕП трактуется им как пассивное, открывающееся к океану. В последние годы активно раз-

вивается также представление о том, что Урал как подвижный пояс во временном промежутке от рифея до мезозоя прошел два полных цикла геодинамического развития (Иванов и др., 2014; Пучков, 2010). Первый цикл имел место в рифее и венде и завершился поздневендской орогенцией, формированием протоуралид-тиманид, второй относится к палео-зою и началу мезозоя и соответствует уралидам.

В решение проблемы о времени заложения и дальнейшей эволюции Уральского палеоокеана несомненный вклад может внести детальное изучение процессов магматизма, рудоносности, геодинамической эволюции крупных рифтогенных структур восточной периферии ВЕП и всего западного палеоконтинентального склона Урала в докембрийское время. Задачей данной статьи являются анализ и характеристика этапов магматизма и рудогенеза на западном склоне Южного и Среднего Урала в период 1750–1200 млн лет, когда эпиплатформенный рифтогенный магматизм был не только самым интенсивным, но и наиболее разнообразным по составу, магматическим источникам и сопутствующему оруденению.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭТАПОВ РИФЕЙСКОГО РИФТОГЕНЕЗА БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ

Раннерифейский этап эпиплатформенного рифтогенеза в БМА зафиксирован в составе грубообломочных отложений и в проявлении субщелочного магматизма айской свиты. Эта свита залегает с глубоким размывом и угловым несогласием на породах тараташского архейско-раннепротерозойского метаморфического комплекса, являющегося возрастным аналогом кристаллического фундамента ВЕП. Возраст циркона из базальтов айской свиты составляет 1752 ± 11 млн лет, а датированных порфиритов – 1635 ± 30 млн лет (Краснобаев и др., 2013).

В последующий длительный (1600–1400 млн лет) и, по-видимому, амагматичный период возник крупный раннерифейский прогиб, заполненный многокилометровой толщей нижнерифейских мелководных осадков существенно карбонатного состава (саткинская, бакальская свиты). Карбонатно-осадочные образования саткинской свиты датированы изотопными методами. Время раннего диагенеза карбонатных пород саткинской свиты составляет 1550 ± 30 млн лет (Pb–Pb изохронный метод) (Крупенин и др., 2013). Этот карбонатный осадочный комплекс пронизан многочисленными силлами и роями даек пикритов и диабазов (долеритов) разного состава, а возможно, и возраста. К нижнерифейским карбонатным толщам приурочены уникальные по масштабам и промышленному значению месторождения магнетитов и сидеритов (Сат-

кинская и Бакальская группы), а также многочисленные проявления флюоритовой, баритовой, полиметаллической и другой минерализации.

Среднерифейский этап. В начале среднего рифея (1400 млн лет) в БМА происходит формирование Кувашско-Машакской палеорифтовой системы, состоящей из серии кулисообразно сопряженных грабенов, имеющих общее северо-восточное простирание. На этом этапе в сравнении с ранним рифеем отмечается не только более интенсивная магматическая деятельность, но и продвижение процессов рифтогенеза и магнообразования далее на юг и восток. Существенно расширяется спектр состава магматических пород, а также их фациальное разнообразие. Наряду с продуктами контрастного бимодального базальт-риолитового вулканизма кувашской, машакской, шатакской среднерифейских свит и образованием многочисленных дайковых роев, сложенных породами от пикритов до диабазов (Алексеев, 1984; Пучков, 2010, 2012; Ферштатер и др., 2004; Холоднов и др., 2005, 2006), а также трахибазальтами редкометалльного месторождения Сибирка (Шагалов и др., 2014), в этот период формируется и ряд крупных габбро-гранитных интрузий кусинско-копанского комплекса, Бердяушский плутон гранитов-рапакиви с телами нефелиновых сиенитов и габброидов, Ахмеровский гранитный массив и др.

СОСТАВ И ВОЗРАСТ СРЕДНЕРИФЕЙСКИХ МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ

Кусинско-Копанская группа габбро-гранитных интрузий образует сложнопостроенную полосу СВ простирания длиной около 80 км при ширине 2–5 км в восточной части БМА к западу и далее к юго-западу от г. Златоуст.

Формирование среднерифейских габбро-гранитных интрузий в БМА приурочено к ряду глубинных разломов (рис. 1). В самом крупном и восточном из них Зюраткульском разломе залегают расслоенные массивы габброидов (с юга на север – Маткальский, Копанский, Медведевский и Кусинский) и перекрывающие их с востока (с наличием тектонических контактов) гранитные массивы (Рябиновский и Губенский), составляющие кусинско-копанской габбро-гранитный комплекс. С более западным разломом связан известный Бердяушский массив гранитов-рапакиви и сопряженных с ними пород.

Габбро-гранитные массивы кусинско-копанского комплекса формировались на разных глубинных уровнях. На севере становление массивов (Кусинского и Губенского) происходило в условиях абиссальной фации глубинности, при давлениях 6–8 кбар и более. На юге общее и флюидное давление при формировании менее глубинных габбро-

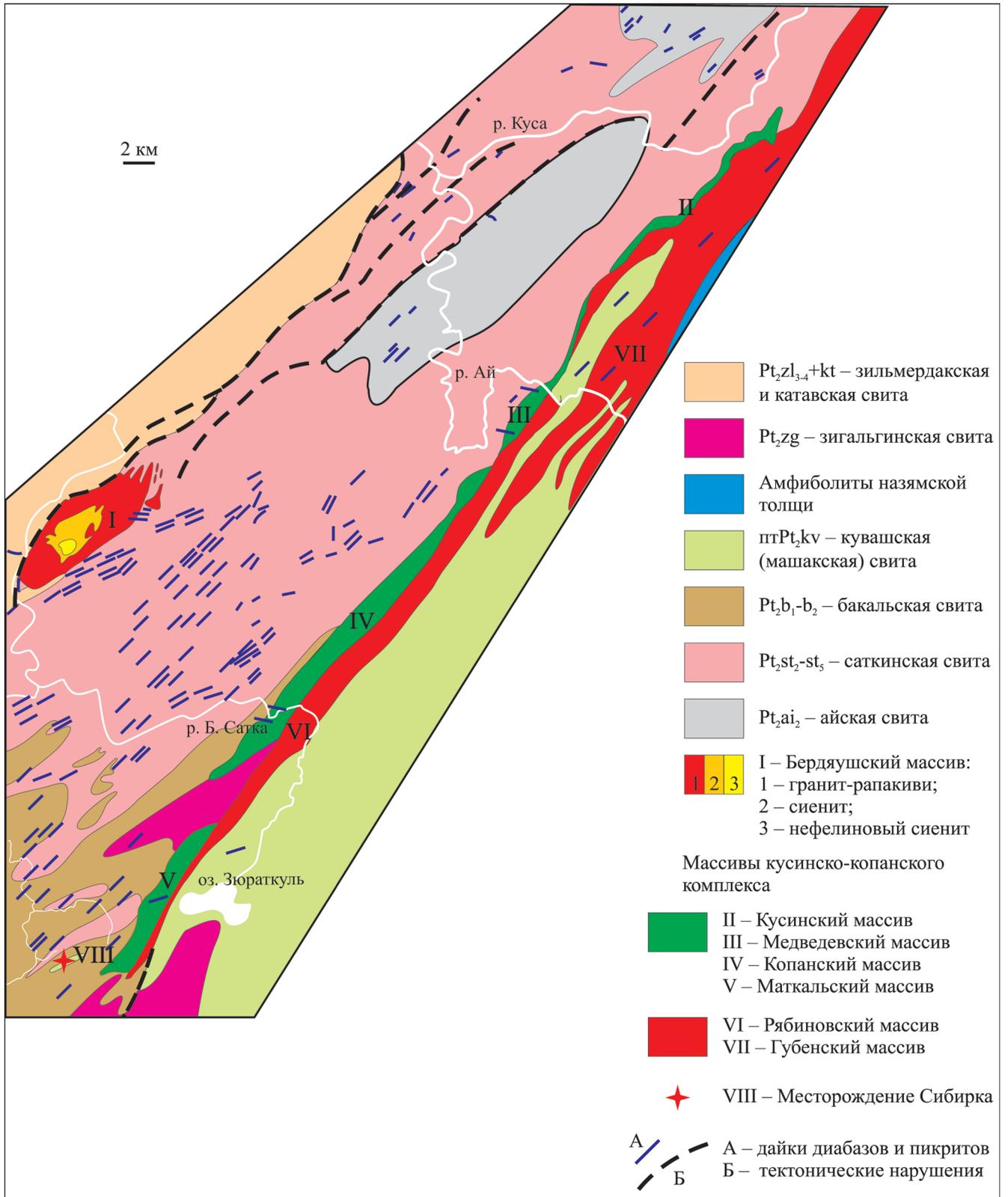


Рис. 1. Фрагмент геологической карты северной части Башкирского мегантиклинория. (Геологическая карта масштаба 1 : 200 000 под ред. И.Д. Соболева, 1962). С упрощениями и добавлениями авторов.

Fig. 1. Fragment of geological map of northern part of Bashkirian antiform. (Geological map of scale 1 : 200 000, ed. I.D. Sobolev, 1962). With simplification and additions of the authors.

вых и гранитоидных интрузий (Копанский, Рябиновский массивы) снижается до 1–3 кбар. Общий перепад глубин формирования габбро-гранитных интрузий на севере и юге кувашской рифтовой структуры и Зюраткульского разлома достигает почти 20 км (Ферштатер и др., 2001, 2005).

Кусинско-Копанская группа интрузий в изотопном отношении изучена нами в последние годы наиболее детально (Краснобаев и др., 2006; Холоднов и др., 2010, 2015; Холоднов, Шагалов, 2012; и др.). Получены схожие значения возрастов (U-Pb датирование цирконов, Sm-Nd и Rb-Sr методы), которые свидетельствуют, что возраст рудоносных габброидов кусинско-копанского комплекса, а также перекрывающих их на востоке гранитоидов Рябиновского и Губенского массивов лежит в едином интервале 1385–1395 млн лет. Габбро-нориты Кусинского месторождения, по данным Sm-Nd метода, имеют возраст 1388 ± 63 млн лет, массивные жильобразные магнетит-ильменитовые руды этого месторождения – 1392 ± 130 млн лет. Близкий возраст (1385 ± 25 млн лет) имеют цирконы в габбро-норитах южного Копанского массива, а также в гранитоидах комагматичного Рябиновского массива, в анортозитах (1379 ± 8 млн лет) ритмично-расслоенной серии пород и руд Медведевского месторождения. Результаты Rb-Sr датирования гранитоидов Рябиновского и Губенского массивов следующие: Рябиновский массив – 1394 млн лет, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0.705485 \pm 0.000034$, Губенский – 1388.5 млн лет, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0.70570 \pm 0.00012$. Таким образом, использование разнообразных изотопных методов позволило надежно установить близкий возрастной диапазон образования габброидов, гранитоидов и руд кусинско-копанского комплекса и их принадлежность к началу среднего рифея. Вместе с тем внедрение отдельных даек гранит-порфиров на Медведевском месторождении происходило и в более позднее время – 1353 ± 16 млн лет (Холоднов, Шагалов, 2012).

Бердяшский плутон расположен близ одноименной ж/д станции, западнее Кусинско-Копанской группы интрузий и Зюраткульского разлома. С востока массив ограничен тектоническим нарушением, на западе прорывает метаосадки саткинской свиты (нижний рифей). Ядро Бердяшского массива образовано сиенодиоритами и сиенитами с ксенолитами габброидов, а также телами нефелиновых сиенитов, а периферия – граносиенитами и гранитами-рапакиви. Возраст габброидов по данным изотопного датирования – 1388 млн лет, кварцевых сиенит-порфиров – 1372, гранитов-рапакиви – 1388–1354, нефелиновых сиенитов – 1373–1368 млн лет (Ларин, 2011; Ронкин и др., 2015; Краснобаев et al., 2011; и др.). Эти значения укладываются в возрастной диапазон формирования кусинско-копанского габбро-гранитного комплекса и определяют верхнюю границу среднерифей-

ских событий в БМА. ϵNd для гранитов-рапакиви варьирует от -5.0 до -7.3 и свидетельствует о значительной роли коровой компоненты в источнике (Ронкин и др., 2015). Для габбро предполагается присутствие в субстрате деплетированного мантийного материала ($I_{\text{Sr}} = 0.7032$ (Горожанин, 1998)).

Ахмеровский гранитный массив находится в южной части БМА среди метаосадочных пород нижнего рифея и приурочен к ядру Белорецкого купола (Алексеев, 1984; Пучков, 2010). Это практически единственное крупное интрузивное тело на юге БМА. Вблизи расположены эталонные разрезы машакской вулканогенной свиты. Возраст гранитов Ахмеровского массива по цирконам (SHRIMP-2) составляет 1381 ± 23 млн лет (Краснобаев и др., 2008). По данным CA-ID-TIMS метода U-Pb, возраст цирконов из метабазальтов и риолитов машакской свиты практически идентичен – 1380–1385 млн лет (Пучков, 2012).

Силлово-дайковый комплекс. Систематика силлово-дайковых роев, широко развитых в БМА, затруднена ограниченностью возрастных данных. В настоящее время имеются достоверные определения изотопного возраста только для следующих типов пород. Для Главной дайки долеритов Бакальского рудного поля возраст по данным U-Pb датирования бадделеита составляет 1385.3 ± 1.4 млн лет (Ernst et al., 2006). Близкие датировки имеют пикробазальты и пикриты силлоподобных тел в тараташском блоке, пикробазальт в экзоконтакте Кусинской интрузии (Носова и др., 2012). По возрасту эти субвулканические тела синхронны другим среднерифейским интрузивным и вулканогенным образованиям БМА.

Кроме того, в разных частях БМА выделяются дайки долеритов, имеющие более молодой возраст. К ним относится, например, рой даек, имеющих субширотное простирание и секущих интрузии стратифицированных габброидов кусинско-копанского рудоносного комплекса, вытянутые вдоль Зюраткульского рифтогенного разлома. В малоглубинных южных массивах, Копанском и Маткальском, дайки имеют закаленные контакты, как правило, не метаморфизованы, представлены породами тонко-мелкозернистой офитовой структуры, равномернозернистого или порфирового облика. В глубинной северной Кусинской интрузии поздние дайки не имеют зон закалки, часто встречаются в эндоконтактах, секут разгнейсованные и тектонически деформированные габброиды. Это свидетельствует о внедрении даек после одной из фаз тектонических деформаций. В гранитогнейсах Губенского массива широко распространены пластовые тела ортоамфиболитов, залегание которых согласно с гнейсовидностью вмещающих гранитогнейсов. Все они в той или иной мере будинированы. Дайки в Бердяшском массиве также имеют массивную текстуру и рассекают как интрузивные

породы, так и вмещающие их деформированные доломиты саткинской свиты, имея с теми и другими закаленные контакты. Они представлены амфиболовыми долеритами.

Для этой группы субвулканических пород определения изотопного возраста следующие. Долеритовый силл на окраине города Куса датируется возрастом 1360 ± 9 млн лет (Ar-Ar метод) (Пучков, 2010). По данным А.А. Носовой и др. (2012), в БМА формирование низкотитанистых базитов (пикритов и долеритов) происходило несколько позднее (1320 млн лет), чем становление высокотитанистых базитов (1385 млн лет). Кроме того, для пикритов ишлинского комплекса в центральной части БМА известно одно Sm-Nd изохронное определение возраста в 1291 ± 67 млн лет (Сазонов, 2011).

Таким образом, изотопно-возрастные данные свидетельствуют о том, что формирование габбровых и гранитоидных интрузий и ряда даек в БМА происходило практически одновременно с развитием бимодального машакского базальт-риолитового вулканизма. В этот же период образовались также месторождения магнетита в составе саткинской свиты нижнего рифея (1380 ± 14 млн лет, U-Pb метод) (Овчинникова и др., 2014). Все эти магматиты и метасоматиты – свидетели эпизодов рифтогенеза в рамках машакского рифтогенного события (Maslov et al., 1997).

Трахибазальты и андезитобазальты редкометалльного месторождения Сибирка. Объект расположен в Челябинской обл., на левом берегу р. Сатка, возле пос. Сибирка. Месторождение содержит промышленные количества Nb, Ta, Zr, Th, Mo; отнесено в разряд забалансовых в связи с плохой обогатимостью руд. Оно приурочено к небольшой кольцевой вулканической структуре в зоне тектонического нарушения, оперяющего рифтогенный Зюраткульский разлом. Породы представлены полевошпатовыми, фельдшпатоидно-полевошпатовыми и карбонатитовыми метасоматитами, развитыми по трахиандезитобазальтам. Последние иногда имеют облик эруптивных брекчий и несут ксенолиты кислых пород, близких по минеральному и химическому составу к гранитам Рябиновского массива, расположенного северо-восточнее, также в зоне разлома. В центральной части структуры встречаются более кремнекислые породы – биотит-микроклиновые сиениты (часто альбитизированные, гематитизированные, окварцованные), которые, вероятно, являлись завершающими интрузивными членами магматического ряда.

Щелочные метасоматиты содержат биотит, эгирин, щелочной амфибол, а также гематит; в распределении минералов фиксируется метасоматическая зональность. Тонкозернистая редкометалльная минерализация (колумбит, пироксид, Nb-эшинит, молибденит, торит и др.) ассоциирует с метасоматически измененными вулканиками и вмещающи-

ми породами бакальской и саткинской свит. Данные по составу, структуре и минералогии руд месторождения приведены в работе К.К. Золоева и др. (2004).

Нами получен ряд новых изотопно-геохронологических данных, характеризующих ранний период формирования месторождения Сибирка. Конкордантный возраст одной из генераций цирконов в ксенолите амфибол-биотитового гранита в эруптивной трахибазальтовой брекчии составляет 1354 ± 7 млн лет, эта цифра отвечает заключительному этапу среднерифейского гранитоидного магматизма (Рябиновский и Губенский массивы) в зоне Зюраткульского разлома.

Sm-Nd изотопная система месторождения характеризуется рядом эрохронных зависимостей. Одну из них образуют трахибазальтовые вулканики и некоторые типы рудоносных метасоматитов с общим значением возраста 1337 ± 150 млн лет, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.51111 \pm 0.00011$, СКВО = 39. Трахиандезитобазальты имеют самые высокие значения ϵNd (+4.0...+4.9), указывающие на связь источника с деплетированной мантией, для сиенитов этот параметр несколько ниже – ϵNd (+1.6...+2.8) (Шагалов и др., 2014). Модельный Nd возраст магматических источников варьирует в диапазоне 1316–1857 и 2223 млн лет.

В целом время начала формирования (1337 млн лет) полихронного месторождения Сибирка согласуется (с учетом погрешности) с Rb-Sr данными (1323 ± 53 млн лет) А.А. Носовой и др. (2009) для трахибазальтов данной структуры.

Метавулканики (амфиболиты) назямской толщи являются самыми молодыми вулканогенными породами в составе северного Кувашского грабена. Они образуют полосу в восточной части последнего, имеют тектонический контакт с породами апикальной части Губенского гранитного массива. Впервые породы такого типа были установлены на Назямском (Назминском) хребте, образующем субмеридиональную полосу севернее г. Златоуст, отсюда и название толщи. До сих пор эта толща не была включена в состав какой-либо свиты в связи с неясной возрастной позицией.

Выходы метавулкаников в некоторых участках разреза имеют мощность 0.5–1.0 км. С востока они по тектоническому надвику перекрываются кварцитами и сланцами таганайской свиты среднего рифея. Амфиболиты имеют гранолепидобластовую структуру с параллельной ориентировкой удлиненных минералов, состоят из почти нацело ссоритизированного плагиоклаза, измененного амфибола и эпидота, акцессорные минералы – апатит, лейкоксен, магнетит.

Полученный нами K-Ar возраст бедных калием амфиболов (табл. 1) из назямских метавулкаников варьирует в диапазоне 1155–1254 млн лет, в среднем составляя 1216 ± 38 млн лет. По-видимому, по-

Таблица 1. К-Аг возраст роговых обманок из метавулкаников Назямских гор***Table 1.** K-Ar age of the hornblendes from metavolcanic rocks of the Nazyam mountains*

Образец	K, %	Ar ⁴⁰ , нг/г	Возраст, млн лет
КС 399/1(2005)	0.18	20.2	1155 ± 80
		19.8	1178
КС 399/2(2007)	0.17	21.6	1216 ± 38
			1254

*Проба отобрана на г. Черная, в 8.5 км к западу от г. Златоуста, на водоразделе, вблизи тракта п. Магнитка–г. Златоуст. Анализы выполнены в ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН. Аналитики А.И. Степанов и Б.А. Калеганов.

*Specimen was sampled on the Black Mountain on 8.5 km to the west from Zlatoust city, on the watershed, near the way Magnitka–Zlatoust. Analysis made in the Centre “Geoanalytik”, IGG UB RAS, by A.I. Stepanov, B.A. Kaleganov.

следнее значение может характеризовать верхний возрастной предел формирования назямской метавулканогенной толщи, ее метаморфизм в условиях эпидот-амфиболитовой фации. Возраст исходного вулканогенного субстрата может быть более древним, приблизительно в диапазоне 1250–1300 млн лет. Первые данные по изучению Sm-Nd изотопной системы показали, что метавулканики сформировались при участии наиболее деплетированного для среднего рифея мантийного магматического источника ($\epsilon Nd + 3.7...+5.5$) (табл. 2).

ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РИФТОГЕННЫХ БАЗИТОВ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ

Раннерифейский этап. Химический состав раннерифейских базальтов айской свиты свидетельствует о повышенной щелочности пород, которые характеризуются высоким содержанием K_2O – 3–6 мас. %, TiO_2 – 2–3, P_2O_5 – до 0.70 мас. %, резким преобладанием в составе РЗЭ легких лантаноидов (табл. 3) (Алексеев, 1984; Иванов К.П., 1978; Парначев, 1981; Ernst, 2006; и др.). По содержаниям и соотношениям информативных некогерентных редких элементов трахибазальты айской свиты близки базальтам ОІВ типа.

Таблица 2. Изотопный (Sm, Nd) состав назямских амфиболитов***Table 2.** Content of Sm and Nd isotopes of metavolcanic rocks of the Nazyam mountains*

Образец	Sm, г/т	Nd, г/т	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	±2s, %	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	±2s, %	ϵNd , T	T-DM
чг-1	2.56	9.09	0.17022	0.012	0.512702	0.00212	+5.5	1570
чг-2	2.16	7.51	0.17374	0.008	0.512635	0.001731	+3.7	1963

*Точка отбора пробы та же, что в табл. 1. Аналитик Н.Г. Солошенко.

*Specimen was sampled in the place as in the table 1. Analyst N.G. Soloshenko.

Среднерифейский этап. Составы среднерифейских магматических пород БМА эволюционируют во времени (табл. 3, 4). Самые молодые породы – назямские метавулканики – выделяются наименьшим содержанием калия (0.10–0.20 мас. % K_2O) и ассоциированных с ним редких элементов (Rb, Cs, Ba, Sr, P, Nb, La, Ce и др.). Для этих пород характерны и минимальные значения La/Yb отношения (2–3). Стратиграфическая последовательность вулканогенно-осадочных образований, наблюдаемая в кувашском и в более южных машакском и шатакском грабенах, также указывает на изменение состава вулканических пород в течение среднего рифея (Карстен и др., 1997). Здесь, от ранних стадий излияния базальтов к более позднему, а в разрезах – от нижних вулканогенных толщ к верхним, растет отношение $Mg/(Mg + Fe)$, увеличивается содержание кальция, снижается степень окисления железа, уменьшается количество калия, титана и фосфора, т.е. фиксируется антидромный тренд. Сходная тенденция наблюдается и для риолитов, ассоциированных с базальтами.

Трахибазальты месторождения Сибирка принадлежат к особому петрогеохимическому типу пород БМА. Они выделяются самыми высокими содержаниями щелочей (калия и натрия), титана, фосфора и ряда редких элементов – Nb, Ta, U, Th, TR, Zr (см. табл. 3). Вероятно, это результат специфики исходных магм, сложного механизма формирования и последующего метасоматоза.

Силлово-дайковые базитовые рои БМА имеют черты сходства и различия. Общая черта базитов всех этих групп – повышенные содержания железа, ванадия и титана (см. табл. 4), заметно превышающие средние концентрации в траппах и базальтах континентальных рифтов. По содержаниям калия и некогерентных редких элементов (рис. 2–3) они сильно различаются и условно разделены на три группы (Ферштатер и др., 2004; Холоднов и др., 2005).

I. Дайки, секущие породы нижнепротерозойского александрово-ахтенского метаморфического комплекса, выделяются наиболее высоким содержанием K_2O (до 3 мас. %), литофильных и высокозарядных редких элементов (Rb, Ba, P, Ti, Nb, Ta, La, Ce, Hf, Zr), а также Cr, высоким значением La/Yb (15–20) и низким (около 300) K/Rb отношением.

Таблица 3. Содержание петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в типичных образцах базальтов Башкирского мегантиклинория**Table 3.** Content of main (wt %) and trace (ppm) elements from typical samples of basalts of the Bashkirian anticline

Образец	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	47.6	49.7	49.1	48.6	50.1	57.2	52.6	52.1	46.3
TiO ₂	2.6	2.6	1.9	1.4	1.4	2.0	0.6	1.3	1.1
Al ₂ O ₃	14.9	13.4	12.2	13.1	13.5	7.7	13.7	11.8	14.9
Fe ₂ O ₃	14.7	14.8	15.6	14.4	13.4	9.0	3.8	15.8	12.9
MnO	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3
MgO	4.8	4.1	5.6	7.0	6.0	3.1	0.6	5.6	9.2
CaO	6.3	6.2	8.9	8.1	8.5	8.1	10.1	8.4	11.9
Na ₂ O	3.3	2.5	2.7	3.6	3.0	7.3	11.9	2.5	2.0
K ₂ O	0.9	2.6	0.3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.1	0.3
P ₂ O ₅	0.7	0.8	0.2	0.2	0.1	2.8	1.1	0.1	0.2
П.п.п.	3.1	3.0	2.1	2.4	3.2	1.8	5.7	1.4	1.0
Сумма	98.9	99.7	98.9	99.0	99.3	100.1	100.2	99.5	100.1
Rb	14.0	46.0	9.0	2.0	1.0	46.2	2.0	1.9	4.7
Sr	597.0	682.0	157.0	165.0	184.0	3414.0	350.4	95.3	55.6
Ba	959.0	1550.0	64.0	61.0	9.0	70.6	60.1	17.6	83.1
V	231.0	228.0	411.0	355.0	327.0	102.0	5.2	283.9	190.5
Cr	58.0	51.0	67.0	137.0	95.0	164.4	127.3	218.5	124.1
Co	41.0	42.0	54.0	61.0	38.0	11.6	7.7	50.4	70.1
Ni	62.0	39.0	66.0	84.0	56.0	58.2	6.9	97.7	132.6
Cu	27.0	38.0	130.0	228.0	165.0	51.1	16.3	23.4	366.5
Zn	134.0	145.0	134.0	161.0	106.0	760.8	797.5	88.7	240.1
Ga	23.0	24.0	22.0	22.0	18.0	60.3	33.8	15.8	16.0
Y	30.0	30.0	33.0	28.0	25.0	41.6	60.7	27.2	10.5
Nb	16.0	17.0	16.0	10.0	9.0	344.7	753.3	5.8	0.5
Ta	0.9	0.9	0.6	0.5	0.5	23.5	31.1	0.3	0.1
Zr	182.0	205.0	137.0	108.0	92.0	136.9	562.0	28.1	4.7
Hf	4.7	5.2	4.0	3.1	2.8	3.1	14.4	0.8	0.2
U	0.5	0.7	0.4	0.3	0.3	4.8	20.8	0.2	0.1
Th	2.5	3.4	1.8	1.3	1.4	903.7	44.4	0.8	0.2
La	36.7	48.5	14.3	14.3	11.9	551.6	92.8	6.2	3.2
Ce	82.0	105.0	33.0	32.0	26.8	992.5	228.7	15.3	8.9
Pr	10.0	12.1	4.3	4.0	3.3	93.5	34.6	2.2	1.2
Nd	42.0	51.7	19.2	17.7	14.8	273.6	119.4	10.6	5.5
Sm	8.4	9.9	5.0	4.1	3.8	48.1	25.3	3.0	1.5
Eu	2.9	3.3	1.7	1.4	1.4	12.1	6.7	1.0	0.8
Gd	7.7	8.4	5.9	4.7	4.3	35.1	19.6	3.7	1.9
Tb	1.2	12.0	1.0	0.8	0.8	3.3	2.9	0.6	0.3
Dy	5.9	6.4	6.2	5.1	4.7	13.0	16.4	4.3	2.2
Ho	1.1	1.2	1.2	1.0	0.9	1.8	2.8	0.9	0.5
Er	3.1	3.5	3.7	3.1	2.8	3.9	6.7	2.7	1.4
Tm	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.8	0.4	0.2
Yb	2.8	2.9	3.6	3.0	2.7	3.6	4.1	2.6	1.4
Lu	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.2

Примечание. 1, 2 – айская свита: 1 – Ai-05-05, 2 – Ai-05-07; 3–5 – машакская свита: 3 – Mash-18-01, 4 – Mash-19-03, 5 – Mash-24-(С-3К-51); 6, 7 – м-е Сибирка: 6 – СИБ-2, 7 – СИБ-3; 8, 9 – Назямские метавулканы (апоамфиболиты): 8 – ks-399, 9 – ЧГ-1.

Note. 1, 2 – Ai suite: 1 – Ai-05-05, 2 – Ai-05-07; 3–5 – Mashak suite: 3 – Mash-18-01, 4 – Mash-19-03, 5 – Mash-24-(C-3K-51); 6, 7 – Sibirka deposit: 6 – СИБ-2, 7 – СИБ-3; 8, 9 – Nazyam metavolcanic rocks (amphibolites): 8 – ks-399, 9 – ЧГ-1.

II. Жильные роговообманковые и оливиновые габбродиабазы и долериты, силлы двупироксеновых габбродиабазов в карбонатных породах саткинской и бакальской свит обладают более низким содержанием K₂O (1.0–2.5 мас. %), Rb, Ba, P, Nb и других некогерентных редких элементов, более

низким значением La/Yb отношения (5–10) на фоне роста K/Rb отношения (см. рис. 3).

III. Самые поздние субширотные долеритовые дайки, секущие интрузивные породы Кусинско-Копанской интрузии, характеризуются наиболее низкой щелочностью, низким содержанием K₂O

Таблица 4. Содержание петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в типичных образцах основных пород силлово-дайкового комплекса**Table 4.** Content of main (wt %) and trace (ppm) elements from typical samples of the basic rocks of sill-dyke complex

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Образец	523	531	540	181	B3	155	314	171	319
SiO ₂	48.68	45.1	48.2	47.53	43.58	47.71	46.68	51.19	46.66
TiO ₂	3.03	2.47	1.57	3.25	1.71	2.18	2.02	2.51	1.21
Al ₂ O ₃	11.11	14.58	10.93	10.11	8.83	10.84	10.82	10.83	12.47
Fe ₂ O ₃	7.73	4.27	4.7	3.05	6.96	10.74	10.84	3.27	8.85
FeO	8.7	9.6	11.1	15.26	9.1	6.94	7.85	12.48	9.37
MnO	0.21	0.09	0.17	0.22	0.21	0.26	0.31	0.21	0.16
MgO	5.92	6.13	5.94	4.44	13.07	4.49	5.52	3.88	5.94
CaO	7.21	5.2	8.79	9.76	9.92	9.54	7.58	8.62	10.17
Na ₂ O	2.7	2.4	2.5	2.55	1.85	3.39	1.2	3.69	2.27
K ₂ O	2.57	2.84	2.34	0.89	0.6	1.59	4.67	0.27	0.23
P ₂ O ₅	0.36	0.48	0.2	0.42	0.28	0.26	0.25	0.31	0.09
П.п.п.	2.06	7.5	2.55	1.98	3.54	1.76	1.96	1.64	1.7
Сумма	100.28	100.66	98.97	99.46	99.66	99.7	99.71	98.9	99.13
Li	15.01	31.13	37.76	Н.о.	73.52	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Rb	71.03	54.05	58.06	22.38	23.43	42.51	172.93	2.31	0.94
Cs	1.92	1.98	2.81	0.96	0.75	0.5	2.35	0.04	0.01
Sr	344.5	87.9	225.7	221.1	241	281.7	132.9	167	241.6
Ba	515.9	1616.6	259.2	209.7	213.3	494.8	983.9	67	127.3
Sc	22.11	22.36	45.79	37.72	33.76	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
V	340.8	199.6	406.1	460.4	286	361	379	482	240
Cr	614.3	58.9	166.3	107.5	1411.7	430	230	405	312
Ni	171.8	22.8	81.6	74.1	414.6	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Cu	29.7	67.8	166.3	182.3	74.2	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Zn	191.6	120.2	138.9	152	220.4	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Y	30.22	29.64	29.29	52.58	23.73	40.21	46.43	47.52	14.16
Nb	20	43.59	8.7	21	15.92	13	14.28	17.09	3.3
Ta	1.41	2.76	0.63	0.64	1.09	12.67	0.72	0.93	0.25
Zr	15.9	209.7	86.4	31	112.9	129	262	464.2	115.6
Hf	0.75	5.2	2.42	1.05	2.97	2.99	3.92	6.26	1.99
Pb	8.9	0.94	6.88	3.02	27.22	8.09	33.13	3.41	3.14
U	0.74	1.12	0.27	0.68	0.36	1.66	2.07	1.7	1
Th	4.44	4.69	1.11	2.75	1.61	9.02	4.87	9.84	3.7
La	43.17	51.63	13.03	23.51	23.38	13	20.1	16.78	3.02
Ce	89.59	104.29	29.12	58.5	40.54	34.72	100.87	38.35	18.83
Pr	11.84	12.65	4.08	7.67	6.42	5.01	6.79	5.21	1.31
Nd	48.14	48.97	17.52	33.75	27.11	25.9	34.17	26.43	7.5
Sm	9.48	8.61	4.4	8.55	5.48	6.28	8.01	5.8	2.12
Eu	2.66	2.53	1.44	2.22	1.72	1.87	2.33	1.66	0.62
Gd	7.91	7.27	4.53	9.14	5.13	7.34	9.5	7.67	2.68
Tb	1.15	1.11	0.78	1.44	0.74	1.15	1.34	1.26	0.43
Dy	6.24	5.77	5.01	8.35	4.2	6.34	7.37	7.21	2.57
Ho	1.14	1.13	1.1	1.82	0.83	1.31	1.55	1.6	0.54
Er	2.77	2.92	2.97	4.77	2.05	3.77	4.5	4.68	1.57
Tm	0.38	0.44	0.45	0.63	0.29	0.54	0.66	0.69	0.23
Yb	2.33	2.77	2.68	3.97	1.72	3.17	3.88	4.27	1.38
Lu	0.31	0.44	0.37	0.53	0.27	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.

Примечание. 1, 2 – ахтенский комплекс; 3, 4 – саткинская свита; 5 – Бердяушский массив; 6, 7 – Губенский массив; 8, 9 – Медведевский (8) и Копанский (9) массивы. Н.о. – элемент не определялся.

Note. 1, 2 – Akhtensky complex; 3, 4 – Satka suite; 5 – Berdyaush massif; 6, 7 – Gubensk massif; 8 – Medvedevsky and 9 – Kopansky massifs. Н.о. – element was not determined.

(0.2–0.3 мас. %), а также Rb, Cs, Ba, P, Nb, La, Ce (см. табл. 4), самым низким La/Yb (2–4) при высоком K/Rb отношении (1000–2000). На спайдерграм-

мах (рис. 4) поздние дайки имеют резкие минимумы K, Rb, Sr, Zr и положительные аномалии Sc, V, Li, Ba. На диаграмме нормированных по хондриту

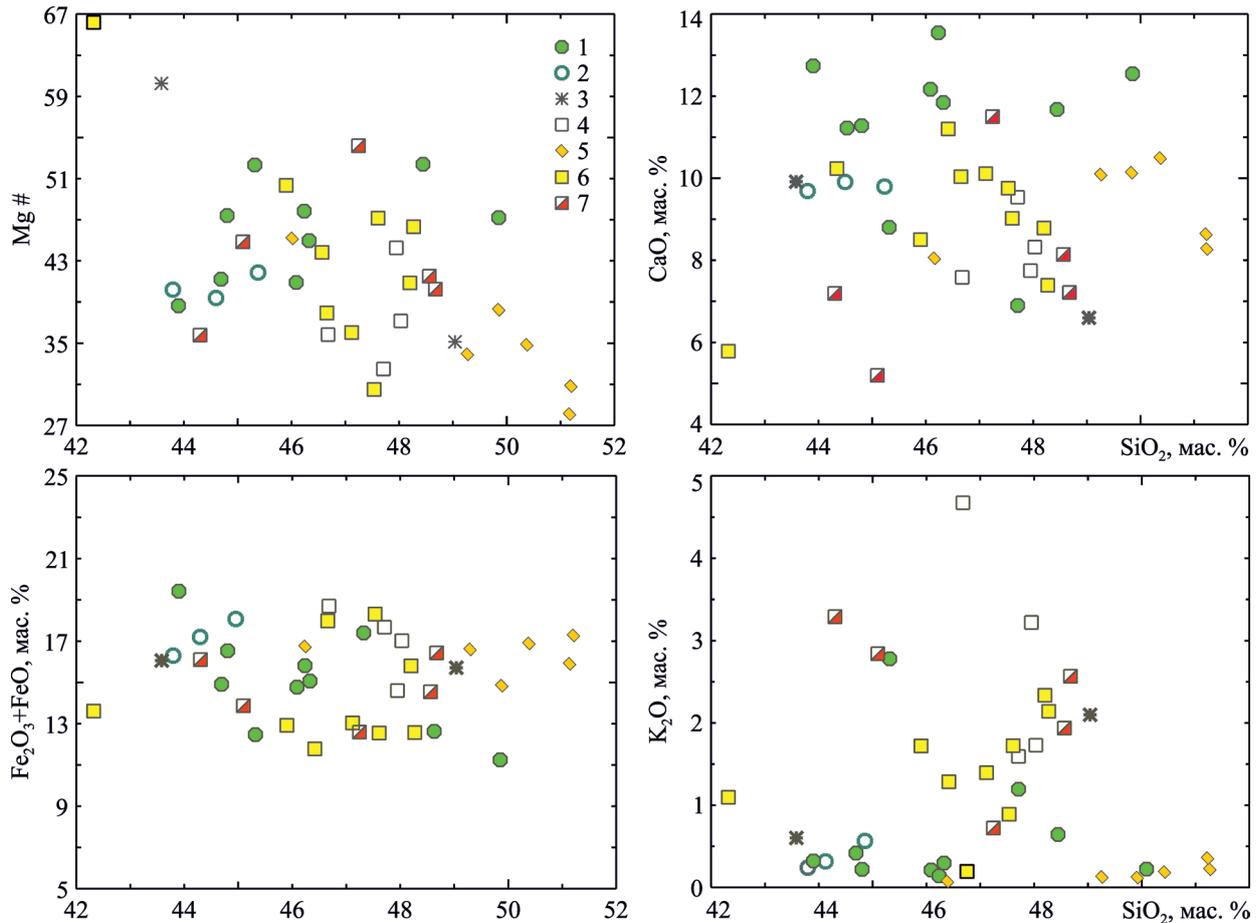


Рис. 2. Харкеровские диаграммы для габброидов и дайковых пород БМА.

1–3 – габбро: 1 – Кусинско-Копанская интрузия, 2 – скважина № 2, 3 – Бердяушский массив; 4–7 – жильные породы (долериты): 4 – среди гранитогнейсов Губенского массива, 5 – в габбро Кусинско-Копанской интрузии, 6 – в карбонатных породах саткинской и бакальской свит, 7 – в ахтенском метаморфическом комплексе.

Fig. 2. Charckev's diagrams for gabbro and dykes from the Bashkirian anticlinorium.

1–3 – gabbro: 1 – Kusa-Kopan intrusion, 2 – borehole № 2, 3 – Berdyaush pluton, 4–7 – vein rocks (dolerites): 4 – in granite-gneisses of the Gubensk massif, 5 – in gabbro of the Kusa-Kopan intrusion, 6 – in carbonate rocks of the Satka and Bakal formations, 7 – in the Akhtensky metamorphic rocks.

РЗЭ (см. рис. 4), состав даек этой группы образует единое поле с метавулканитами назямской толщи. От других среднерифейских пород их отличает повышенное содержание ТРЗЭ на фоне пониженных концентраций легких лантаноидов.

Габброиды кусинско-копанской расслоенной интрузии отличаются от всех остальных среднерифейских базитов повышенной основностью. Это находит отражение в их несколько более высокой магнезиальности, повышенном содержании СаО, низком – К₂О (см. рис. 2), связанного с ним Rb, а также большинства высокозарядных элементов – Nb, Ta, Zr, Hf, Y (см. рис. 3, 4). Особую группу образуют ильменитовые габбронориты, вскрытые скважиной № 2, расположенной к востоку от Кусинского месторождения (Алексеев и др., 1992). Этот тип габброноритов отличает-

ся повышенным содержанием Nb и Ta, но по другим некогерентным элементам он близок к остальным габброидам кусинско-копанского комплекса. Высокое содержание V во всех габбро (см. рис. 3) обусловлено процессом накопления богатых V магнетитовых и титаномагнетитовых руд. Оно указывает на высокую фугитивность кислорода при их формировании (Ферштатер и др., 2001, 2005; и др.).

Габброиды в составе Бердяушского массива обладают определенной спецификой. Они по содержанию высокозарядных редких элементов (Nb, Ta, Y, Hf, Zr), соотношениям La/Yb, Nb/Zr, Y/Zr и другим (см. рис. 3) близки к субщелочным дайкам, рассекающим породы нижнепротерозойского александро-ахтенского метаморфического комплекса (тип I). По-видимому, эта группа пород свя-

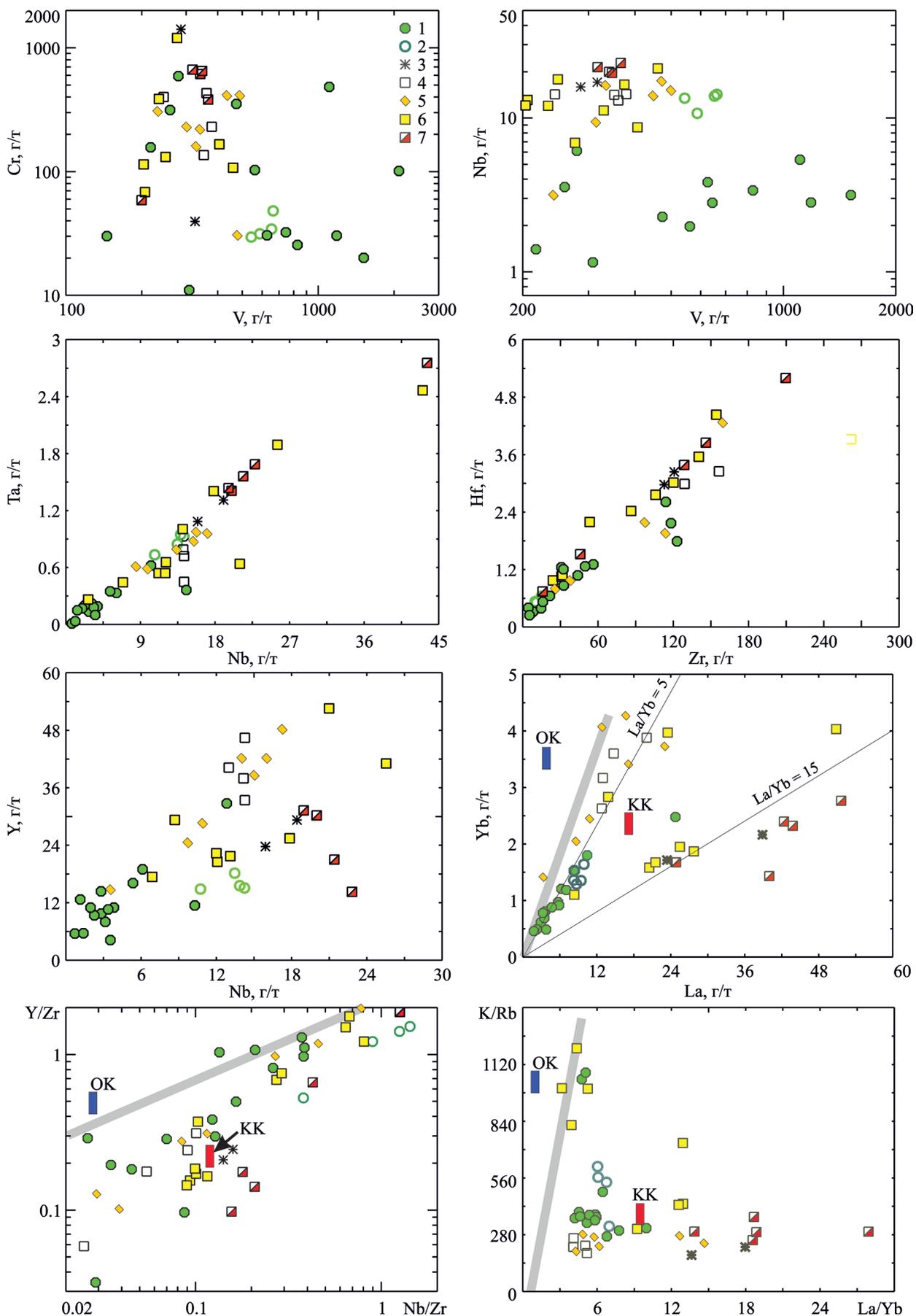
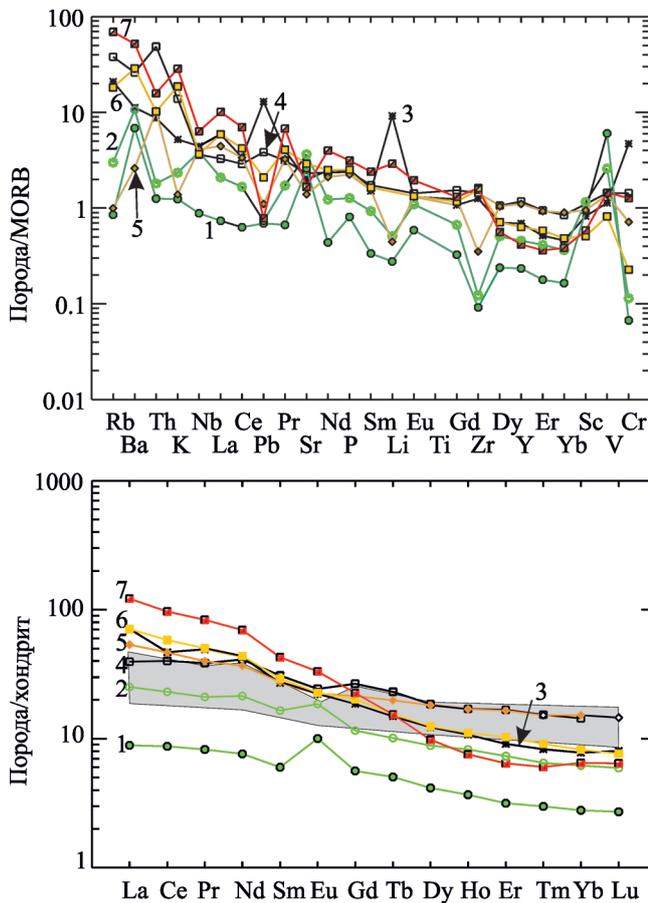


Рис. 3. Соотношения некогерентных элементов в породах БМА.

1–7 – см. условные знаки на рис. 1. ОК и КК – составы океанической и континентальной коры соответственно. Серая линия на всех диаграммах разделяет поля палеозойских габбро Уральского орогена: древних (в поле ОК) и с возрастом моложе 380 млн лет (в поле КК).

Fig. 3. Relations of incoherent elements of rocks from the Bashkirian anticlinorium.

1–7 – legend see in fig. 1. OK and KK – composition of the oceanic and continental crust relatively. Grey line on all the diagrams divides field of the Paleozoic gabbro of the Uralian orogen: ancient (field OK) and younger (age less than 380 Ma) (field KK).

**Рис. 4.** Распределение редких и редкоземельных элементов в среднерифейских породах БМА.

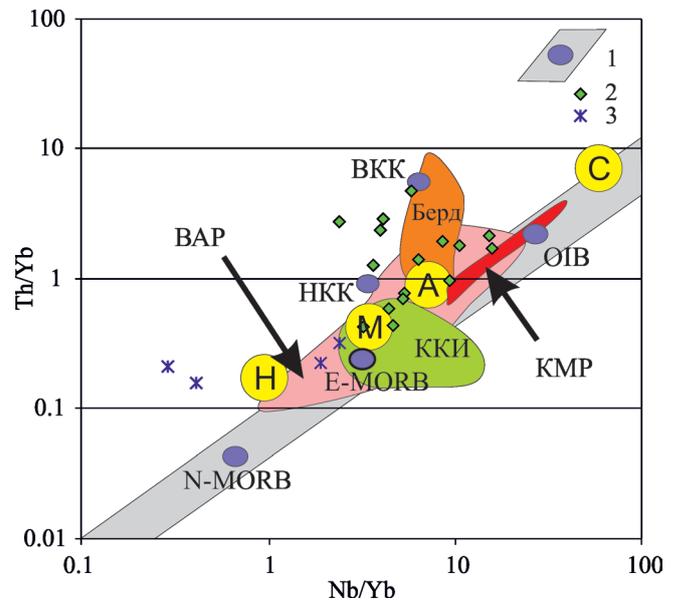
Цифры на диаграммах соответствуют знакам на рис. 2. Отдельным полем на нижнем рисунке показаны аповулканические породы назымской толщи и самые поздние дайки, секущие габброиды куусинско-копанского комплекса.

Fig. 4. REE and trace elements pattern of the Middle Rifean rocks of the Bashkirian anticlinorium.

Digits on the diagrams correspond to legend in fig. 2. Separate field on the lower figure corresponds with apovolcanic rocks of the Nazyam formation and youngest dykes cross-cutting the gabbro of the Kusa-Kopan complex.

зана с другим, более обогащенным мантийным источником.

По соотношениям Th/Yb и Nb/Yb (рис. 5) породы всех охарактеризованных магматических ассоциаций БМА образуют крупное поле, вытянутое

**Рис. 5.** Соотношение Nb/Yb – Th/Yb в магматических породах БМА.

1 – мантийная последовательность и точки средних составов мантийных (N-MORB, E-MORB, OIB) и коровых (BKK и HKK – верхняя и нижняя континентальная кора) источников; KMP – Красноморский рифт (Rogers, 1993; Volker et al., 1997; и др.); BAP – Восточно-африканский рифт (Barrat et al., 1998; и др.); 2 – дайковые комплексы; А – айская, М – машакская свиты, С – трахибазальты Сибирки; Берд – габбро Бердяушского массива; 3 – точки анализов амфиболитов Назымских гор; Н – их среднее значение; ККИ – габбро-нориты массивов Куусинско-Копанской интрузии.

Fig. 5. Graph Nb/Yb – Th/Yb of magmatic rocks from the Bashkirian anticlinorium.

1 – mantle sequence and points of the medium compositions of mantle (N-MORB, E-MORB, OIB) and crust (BKK, HKK – upper and low continental crust) sources; KMP – Red Sea Rift (Rogers, 1993; Volker et al., 1997; and others); BAP – East Africa Rift (Barrat et al., 1998; and others); 2 – dyke complexes: А – Ai and М – Mashak formations, С – trahibasalts of Sibirka deposit; Берд – gabbro of Berdyash massif; ККИ – gabbronorites of the Kusa-Kopan intrusion; 3 – amphybolites of the Nazyam mountains; Н – their middle value.

вдоль мантийного тренда. Одни из них, более щелочные (трахибазальты Сибирки, базиты Бердяушского массива, дайки в дорифейском александровском блоке), близки к обогащенным поро-

дам типа OIB, другие (базальты машакской свиты, габбронориты кусинско-копанского комплекса, поздние дайки в габбровых интрузиях, дайки в породах саткинской свиты) – к E-MORB, а назямские амфиболиты располагаются между E-MORB и N-MORB. Весь спектр описанных пород БМА по отношениям Th/Yb–Nb/Yb близко соответствует диапазону пород Восточно-Африканского рифта и Красного моря (см. рис. 5) (Barrat et al., 1998; Rogers, 1993; Wolker et al., 1997; и др.).

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ, МАГМАТИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Анализ авторских и литературных изотопно-геохимических данных по магматическим породам среднего рифея БМА свидетельствует о том, что в рифтовом магматизме в этот период могли участвовать разные по составу магматические источники: мантийные и коровые (рис. 6). Отрицатель-

ные значения ϵNd для габбро-норитов (–2.4) и массивных магнетит-ильменитовых руд (–1.1) Кусинского месторождения, как и первичное повышенное отношение изотопов Sr для габбро-норитов Копанского массива, гранитов Рябиновского и Губенского массивов (0.7050–0.7060), свидетельствуют о том, что исходный для кусинско-копанской интрузивной ассоциации первично мантийный источник был, вероятнее всего, метасоматически обогащен коровой компонентой. К производным слабо обогащенных коровым веществом мантийных магм, возможно, относятся и базальты машакской свиты ($\epsilon Nd = +0.6 \dots +0.8$). При образовании гранитов-рапакиви Бердяшского массива коровый источник мог иметь решающее значение (Ларин, 2011; Ронкин и др., 2015). В то же время к производным существенно деплетированной мантии относятся трахибазальты ($\epsilon Nd = \text{до } +4 \dots +5$) месторождения Сибирка, ксенолиты габбро в гранитоидах Бердяшского массива, где $\epsilon Nd = +4 \dots +4.9$, назямские амфиболиты ($\epsilon Nd = +3.7 \dots +5.5$).

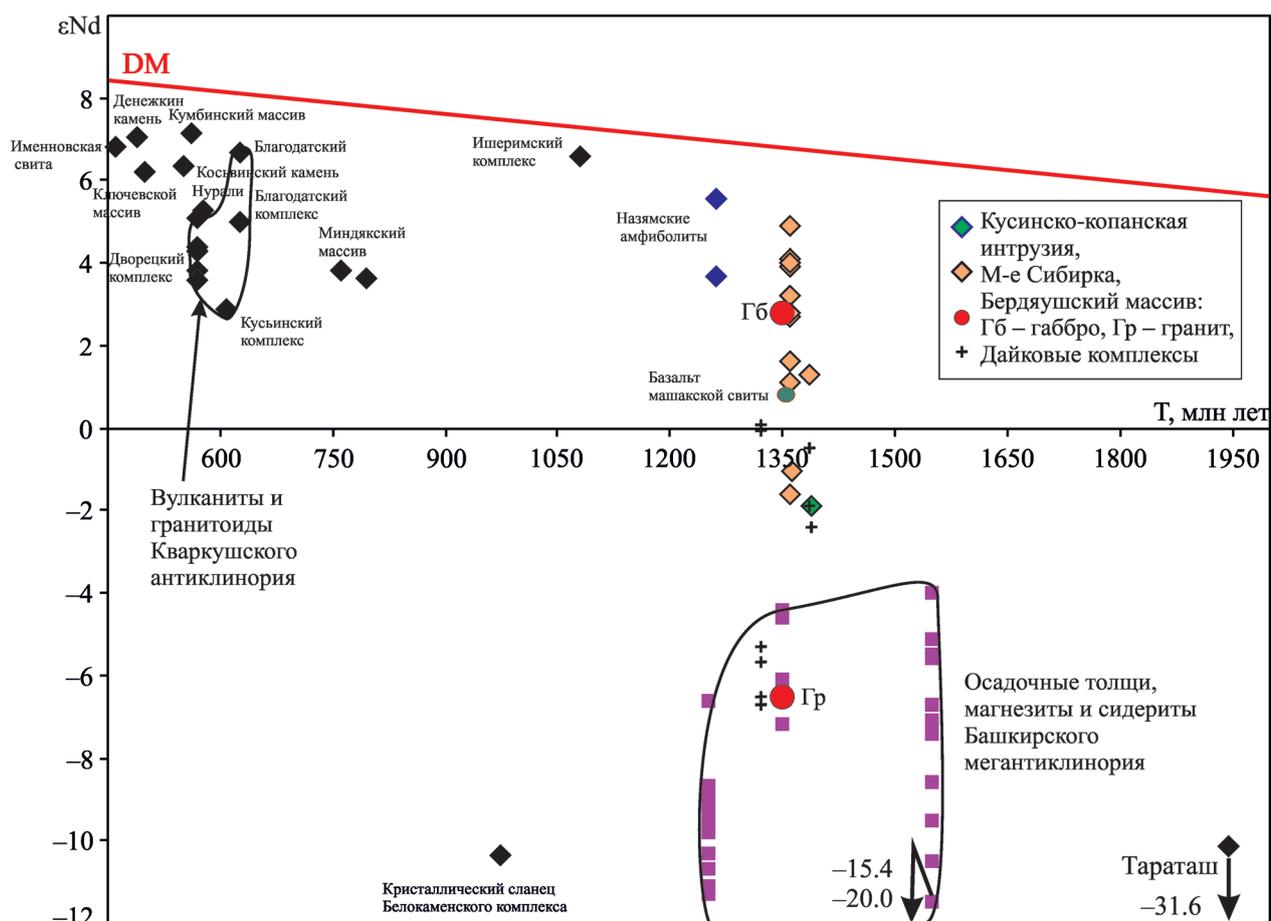


Рис. 6. Диаграмма T– ϵNd в диапазоне возрастов 2000–450 млн лет для магматических, рудно-метасоматических и метаморфических комплексов Среднего и Южного Урала.

Fig. 6. Diagram T– ϵNd for the age interval 2000–450 Ma of magmatic, ore-metasomatic and metamorphic complexes of the Middle and Southern Urals.

По данным А.А. Носовой и др. (2009, 2012), в пикритах и долеритах мезопротерозоя западного Урала ϵNd варьирует от -6.1 до $+1.3$. При этом наиболее низкие значения ϵNd ($-6.1 \dots -4.8$) характерны для пикритов Волго-Уральской области (Мензелино-Актаныш, Ишлинский районы). Для вулканитов Сибирки и Кургасских силлов на западном склоне Урала ϵNd имеет уже положительные значения (от 0.5 до 1.3). Таким образом, по этим данным деплетирование мантии усиливается с запада на восток (т.е. к Уралу). Наблюдается корреляция отрицательных значений ϵNd с геохимическими индикаторами корового вклада.

Одновременное участие в среднерифейском рифтовом магматизме БМА разных магматических источников, из которых одни связаны с обогащенной мантией, другие – с существенно деплетированной, а третьи – с веществом коры, возможно, является свидетельством проникновения мантийного плюма в нижнюю часть континентальной литосферы с частичным плавлением здесь корового субстрата и его контаминацией. Обогащенность базитовых пород Fe и Ti, высокозарядными РЭ, наличие в составе силлово-дайкового комплекса наряду с долеритами и пикритами, являются дополнительным признаком связи рифейских рифтогенных базитов БМА с мантийным плюмовым магматизмом. Последний вывод подтверждается тем, что среднерифейские жильные породы Башкирского антиклинория образуют типичную крупную изверженную провинцию (LIP) в понимании Р. Эрнста (2014), формирование которой также объясняется влиянием плюма.

На рис. 6 отдельным полем показана позиция осадочных карбонатных толщ БМА с месторождениями магнезитов, для которых, по данным М.Т. Крупенина и др. (2013), ϵNd составляет $-4 \dots -10$, а возраст – 1400 млн лет. В контурах этого поля находятся и граниты-рапакиви Бердяушского массива (ϵNd от -5.0 до -7.3). В виде отдельных точек в правой нижней части диаграммы, по данным В.С. Попова и др. (2002), показана позиция пород таратаского комплекса (архей), которые вместе с раннепротерозойским александровско-ахтенским комплексом, по-видимому, и составляют фундамент Кувашско-Машакской рифтовой структуры.

В левом верхнем углу диаграммы на рис. 6 в виде компактного роя точек приведены (по литературным данным) значения ϵNd , характерные для различных по составу и генезису габбро-гипербазитовых комплексов восточного палеоокеанического сектора Урала, локализованных преимущественно в зоне Главного Уральского разлома. Отдельную группу в позднерифейско-вендском возрастном кластере на рис. 6 составляют также вулканиты и гранитоиды западного палеоконтинентального склона Южного и Среднего Урала. Неопротерозойский магматизм такого состава и

возраста проявился вдоль всей уральской и тиманской окраин ВЕП. Там он представлен базальтами и трахибазальтами, щелочными пикритами, трахириолитами и сиенитами, среди которых преобладают высокотитанистые базиты. В Кваркушко-Каменногорском мегантиклинории, например, представители этого геохимического типа – породы дворцекого, кусьинского, благодатского комплексов – относятся к кадомскому этапу тектогенеза. Для них также предполагается плюмовая природа (Карпунин и др., 2001; Петров и др., 2005; Носова и др., 2012; и др.).

Рис. 6 характеризует также длительный относительно амагматичный период в диапазоне 1250–700 млн лет при формировании западной континентальной окраины Уральского океана в позднерифейский период. Только в самое последнее время появились первые данные о наличии в Ишеримском антиклинории западного склона Урала проявлений базитового магматизма с Sm-Nd изохронным возрастом, лежащим в этом интервале. Это возраст (1079 ± 41 млн лет) (Петров, 2016), установленный для метадолерита из силла, залегающего среди кварцитопесчаников ишеримской свиты (верхний рифей), который также относится к производным существенно деплетированной мантии ($\epsilon Nd = +6.57$). Эти цифры укладываются в общий изотопно-геохимический и возрастной тренд рифей-вендского магматизма континентальной окраины ВЕП, сопровождающего раскрытие к востоку от ВЕП рифей-вендского Уральского палеоокеана. Этот относительно амагматичный период в краевой части ВЕП завершается вендским магматизмом Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория, а также формированием гранитоидов Барангуловского и Мазаринского массивов, аршинских базальтов БМА, датируемых возрастом 725–705 млн лет (Краснобаев и др., 2015).

Магматические породы возрастного диапазона 1250–700 млн лет неизвестны и на восточном склоне Урала. Вероятно, этот перерыв в магматизме на западе и востоке Урала соответствовал этапу наиболее активного раскрытия Уральского рифейско-вендского океана. Магматизм в этот период был сосредоточен преимущественно в структурах СОХ, следы его в результате процессов последующей субдукции океанической коры на Урале сохранились слабо.

МАГМАТИЗМ РИФЕЯ И ВЕНДА БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ КАК ВОЗМОЖНАЯ СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ЕДИНОГО УРАЛЬСКОГО (1400–250 ЛЕТ) МЕГАЦИКЛА ВИЛЬСОНА

Общая схема изотопно-геохимической (ϵNd -T) и металлогенической эволюции интрузивного магматизма Уральского подвижного пояса в диапазо-

не 1400–250 млн лет приведена на рис. 7. При ее составлении были использованы возрастные и изотопные данные из более чем 30 работ российских и зарубежных ученых (Петров, 2016; Попов и др., 2002; и мн. др.). Среднерифейские рифтогенные интрузивные и вулканические комплексы БМА, вместе с назямскими метавулканиками (представителями одного из самых ранних этапов формирования пород “океанического типа” на Урале), закономерно вписываются в эту общую схему. На рифейском этапе геодинамической эволюции западного склона Урала, которая представляла собой в этот период последовательные этапы рифтогенной деструкции окраины ВЕП, наблюдается направленный процесс деплетирования производных литосферной мантии (правая часть рис. 7, поле I). В ре-

зультате этого происходит закономерный рост значений ϵNd от (-2) до (+7) при снижении первичных отношений $^{87}Sr/^{86}Sr$ от 0.7060 до 0.7030–0.7025. Левая часть рис. 7 свидетельствует, что процесс деплетирования производных литосферной мантии продолжается и в более позднее время, вплоть до раннего палеозоя (поля II–IV).

Палеозойский интрузивный магматизм Урала в диапазоне 440–250 млн лет относится преимущественно к надсубдукционному и коллизионному типам. В этот период отмечается иная закономерность в эволюции изотопно-геохимических параметров (см. рис. 7). Она выражается в последовательном и довольно резком снижении значений ϵNd (от +8 до -1...-14) и росте первичных отношений $^{87}Sr/^{86}Sr$ от 0.7025 до 0.710 и более. Эта эво-

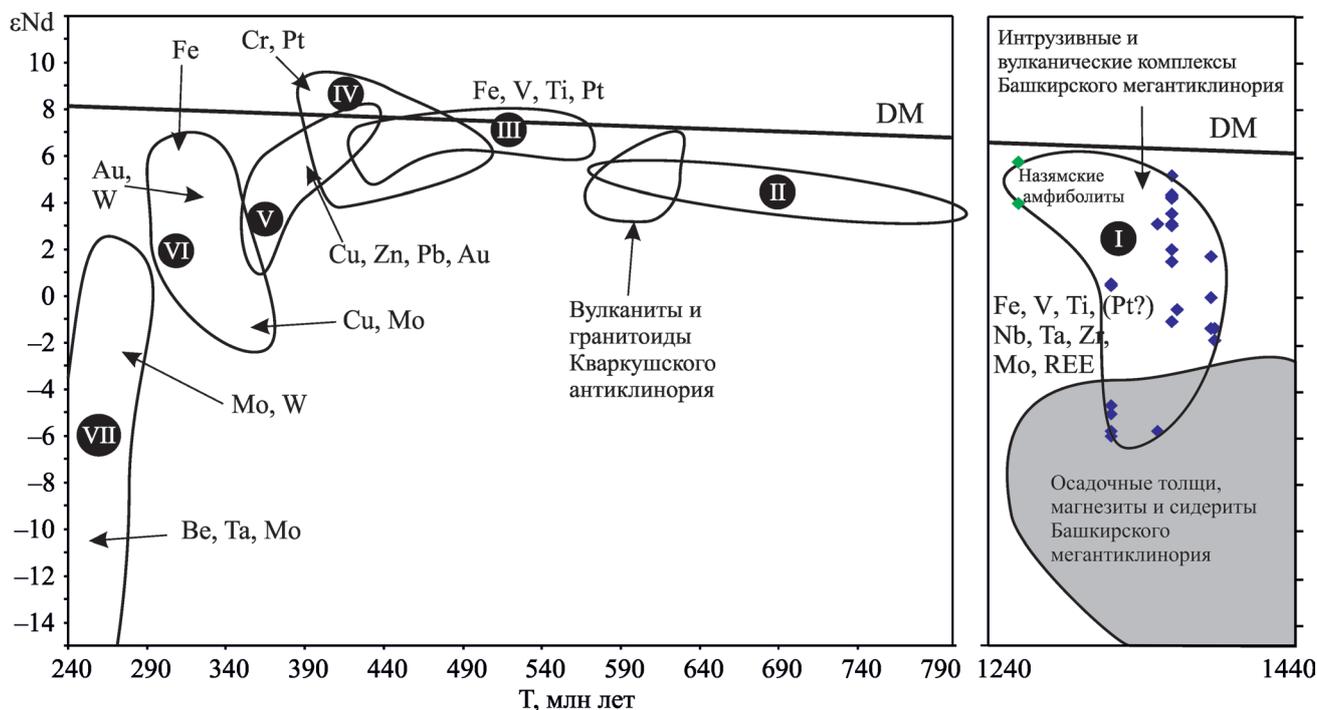


Рис. 7. Эволюция значений ϵNd в процессах магматизма и рудообразования Уральского подвижного пояса (Средний и Южный Урал) в диапазоне 1400–250 млн лет.

I – массивы, Ti-Fe-V и редкометалльные месторождения БМА, II – лерзолитовые комплексы Южного Урала (Нуралы, Миндяк), III – массивы и Fe-V-Ti-Pt месторождения Платиноносного пояса, IV – массивы офиолитовой ассоциации (Cr, Pt), V – островодужные ассоциации (Cu, Zn, Au, Pb), VI – массивы и месторождения (Cu-Mo, Au-W, Fe-Ti-V) окраинно-континентальной стадии, VII – массивы и рудоносные комплексы (Mo-W, Be-Ta-Li и др.) завершающей позднеколлизионной стадии. DM – тренд эволюции деплетированной мантии Земли. На правую часть рисунка вынесены новые изотопно-геохронологические данные по магматическим породам БМА и сопряженному с ними оруденению; позиция назямских метавулкаников обозначена зеленым цветом.

Fig. 7. The evolution of ϵNd values during magmatic and ore-forming processes of the Uralian Mobile Belt (Middle and Southern Urals) for the age interval 2000–450 Ma.

I – massifs, Ti-Fe-V- and rare metallic deposits of the Bashkirian anticlinorium, II – lersolite complexes of the Southern Urals (Nuraly, Mindyak), III – massifs and Fe-V-Ti-Pt deposits of the Platinum Belt, IV – ofiolitic massifs (Cr, Pt), V – island arc associations (Cu, Zn, Au, Pb), VI – massifs and deposits (Cu-Mo, Au-W, Fe-Ti-V) of the continental margin stage, VII – massifs and ore-bearing complexes (Mo-W, Be-Ta-Li et al.) of the late orogenic stage. DM – trend of the depleted mantle evolution. On the right part of this figure we show a new isotopic data on magmatic rocks and associated ores from the Bashkirian anticlinorium. Position of the amphibolites of the Nazyam mountains is marked by green colour.

люция обнаруживает дискретность при смене мантийного островодужного магматизма (440–360 млн лет) – поле V – мантийно-коровым магматизмом окраинно-континентального типа (360–290 млн лет) – поле VI, а последнего – позднеколлизийным коровым и мантийно-коровым гранитоидным магматизмом (290–250 млн лет) – поле VII.

Процессы последующего скольжения литосферных плит и формирование трансформных континентальных окраин влекут за собой изменение изотопно-геохимических параметров магматических пород и связанных с ними рудных месторождений (Ларин, 2011; Ханчук, Мартынов, 2011). В подобных сложных геолого-структурных и геодинамических условиях на Южном Урале формируются такие специфические магматические комплексы, как раннекаменноугольная магнитогорская габбро-гранитная и раннепермская степнинская монцодиорит-гранитная серии. На этом этапе магматизма имеет место значительный рост значений ϵNd в породах и скарново-магнетитовых рудах Магнитогорского и Качарского месторождений (до +5...+6 в поле VI), что показано стрелкой с обозначением Fe (см. рис. 7).

Закономерное изменение изотопно-геохимических параметров в процессе закрытия Уральского палеоокеана и формирования континентальной коры Уральского орогена сопровождается (см. рис. 7) синхронной сменой состава эндогенного оруденения в следующей возрастной последовательности: Cu-колчеданное, Au-Cu-порфировое и Cu-Mo-порфировое оруденение (островодужный этап) на скарново-магнетитовое и Au-сульфидно-кварцевое (с шеелитом) оруденение окраинно-континентального и трансформно-коллизийного этапов, а затем на Mo-W редкометалльное оруденение (Be, Ta, Mo, Li и др.) в связи с позднеколлизийным мантийно-коровым и коровым гранитоидным магматизмом.

В целом охарактеризованное общее направление изотопно-геохимической эволюции на докембрийском и палеозойском этапах формирования Уральского подвижного пояса согласуется с концепцией наличия только одного полного крупного геодинамического цикла Вильсона в развитии литосферы таких эпиконтинентальных подвижных поясов, каким является Урал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный восточный край ВЕП, являющийся одновременно западным палеоконтинентальным склоном современного Урала, характеризуется неоднократным проявлением процессов эпиплатформенного рифтогенеза в диапазоне нижний-средний рифей. Максимальная рифтогенная активность имела место в среднем рифее (“машакское рифтогенное событие”). Среднерифейские жиль-

ные, интрузивные и другие магматические породы с возрастом 1395–1380 млн лет образуют типичную крупную изверженную провинцию (LIP) в понимании Р. Эрнста (2014), формирование которой объясняется влиянием плюма. Породы этого этапа обладают некоторыми общими геохимическими параметрами, не противоречащими плюмовой природе (рис. 8).

Последующее раскрытие среднерифейских грабенов Кувашско-Машакского рифта повторяет практически все этапы деструкции континентальной коры, предшествующие образованию здесь “субокеанических” структур, возможно, и с практически полным разрывом сплошности литосферы (метавулканиты кувашско-назымского грабен-рифта). Для состава вулканитов и дайковых роев этого периода здесь в БМА, как и для наиболее типичных внутриконтинентальных рифтовых систем мира, характерна направленная эволюция химизма пород: от ранних более щелочных и субщелочных до разностей, существенно деплетированных в отношении калия и некогерентных литофильных редких элементов.

Особенно четко такая эволюция выражена в породах самого северного кувашского грабена. Здесь на востоке появляются поздние толеитовые вулканиды (назымская толща амфиболитов) с наиболее низкими содержаниями калия и ассоциированных с ним несовместимых редких элементов. По составу

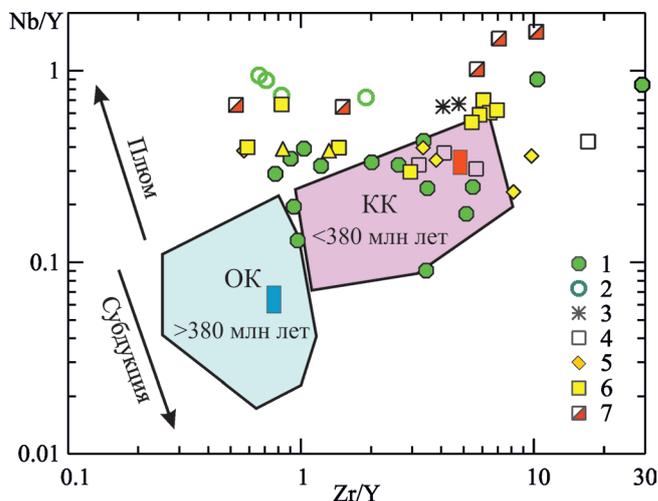


Рис. 8. Диаграмма Zr/Y–Nb/Y.

1–7 – то же, что на рис. 2. ОК и КК – составы океанической и континентальной коры соответственно. В цветных контурах – поля составов палеозойских габбро Урала древнее и моложе 380 млн лет.

Fig. 8. Diagram Zr/Y–Nb/Y for gabbro and dykes from the Bashkirian anticlinorium.

1–7 – legend see in fig. 2. ОК and КК – composition of the oceanic and continental crust relatively. In the colour contour – the Paleozoic gabbro more and less than 380 Ma

ву назямские амфиболиты приближаются к океаническим базальтам N-MORB типа. Появление таких пород, по-видимому, определяется тем, что на севере Кувашико-Машакской рифтовой структуры (именно в восточной части кувашико грабена!) растяжение континентальной коры было наиболее интенсивным. Это определило формирование здесь глубокой рифтовой впадины (назымско-го рифта-грабена), с погружением кристаллического дна этого грабена на значительную глубину и почти полным разрывом сплошности коры. Об этом свидетельствуют наши опубликованные петрологические данные (Ферштатер и др., 2001, 2005; Холоднов и др., 2006; и др.). Ранее (Карстен, 1997) на основании анализа геохимических данных по вулканитам машакской свиты был сделан вывод о том, что в среднем рифее вулканизм в БМА был не изначально континентально-рифтогенным по природе, а отвечал сильно утоненной коре субокеанического типа.

В целом весь спектр составов среднерифейских магматитов БМА отражает общий тренд эволюции: от пород с геохимическими параметрами обогащенной мантии типа E-MORB и OIB (трахибазальты айской свиты, базальты машакской свиты, трахибазальты Сибири, габбронориты Медведевского массива и др.) к породам, близким N-MORB (назымские амфиболиты). Это и позволяет проводить аналогию с геодинамическими обстановками, непосредственно предшествующими и сопровождающими раскрытие рифтовых структур типа Восточно-Африканского рифта, Красного моря и Аденского залива. Вместе с тем длительность существования красноморской “океанической” структуры на территории БМА (кувашико-назымского рифта-грабена) была не очень значительной. Как свидетельствует K-Ar датирование амфиболов в метаморфизованных назымских вулканитах, эта структура, по-видимому, закрылась в диапазоне 1250–1150 млн лет. Возможно, это было связано с проявлением одного из ранних этапов гренвилевского тектогенеза, следы которого выявляются и в некоторых других структурно-вещественных комплексах западного склона Урала (Крупенин, 2004; Петров, 2016).

Несколько ранее в координатах известных диаграмм TR-SiO₂ и Zr/Y-Nb/Y в результате обобщения большой базы данных по составу основных пород собственно Уральско-го подвижного пояса были выделены поля габброидов – древнее и моложе 380 млн лет, связанных с различными по составу магматическими источниками и разными стадиями субдукции (Ферштатер, 2013). Вещественные различия, по-видимому, обусловлены разной фертильностью источника, возрастающей в ходе эволюции орогена. Рассмотренные в настоящей статье рифейские рифтогенные габброиды западного склона Урала, нанесенные на эти диаграммы, по-

дают в поле молодых габбро Урала, образовавшихся из обогащенного мантийного субстрата. Многие фигуративные точки базитов БМА лежат даже выше этого поля, характеризуются еще более высокими содержаниями ряда некогерентных элементов (Nb, Zr, Th, La и др.), что может указывать на связь их генерации с плюмом, внедренным в континентальную кору.

Сдвиг петрогеохимических параметров среднерифейских пород БМА в направлении к MORB коррелирует с эволюцией изотопно-геохимических данных. Первичные отношения изотопов Nd меняются от отрицательных значений, характерных для магматитов зрелой континентальной коры, до положительных (+4...+5 и более высоких), характеризующих участие в петрогенезе магматических пород (назымские метавулканиты) мантийного вещества, сильно деплетированного в ходе рифтогенеза. По-видимому, зрелая дорифейская континентальная кора БМА в течение нижнего и среднего рифея преобразуется в Кувашико и других грабенах в кору “субокеанического” типа.

Анализ данных по эволюции магматизма западного склона Урала в нижнем и среднем рифее, с привлечением информации по изотопии Nd и Sr всех последующих этапов формирования Уральско-го эпиокеанического орогена (в диапазоне 1400–250 млн лет), позволяет заключить, что, пройдя предрифтовый этап, Уральский палеоокеан мог начать активное раскрытие еще во второй половине среднего рифея. Этому предшествовало образование относительно небольших по размерам (как, например, в границах БМА) рифтовых структур типа Красного моря. В дальнейшем, по-видимому, начиная с диапазона 1300–1200 млн лет, к востоку от ВЕП подобные первичные “рифтогенно-спрединговые” структуры раскрылись с образованием крупного Уральско-го рифей-вендского океана. Относительно амагматичный период (1250–700 млн лет) (см. рис. 6 и 7), по-видимому, указывает на то, что процесс раскрытия палеоокеана был длительным.

Приведенные данные по возрасту магматических пород в интервале 1400–250 млн лет свидетельствуют о том, что на Урале и его западной рифейской рифтогенной окраине (восточная часть ВЕП) может быть выделен мегацикл Вильсона длительностью более 1 млрд лет. Он начинается с эпиплатформенного рифтогенеза ВЕП (1750–1300 млн лет), продолжается активным раскрытием Уральско-го океана (1300–700 млн лет), длительным раскрытием в диапазоне 700–290 млн лет, образованием новой континентальной коры и формированием собственно Уральско-го эпиокеанического орогена.

Изложенные представления согласуются с независимыми данными об истории формирования континентальной окраины Уральско-го палео-

океана, полученными в последние годы Г.А. Петровым (2016 и др.) В пределах Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория (одной из краевых структур ВЕП) для проявлений позднепротерозойского магматизма им установлена геохимическая и петрографическая зональность, характерная для пассивных континентальных окраин, открытых в сторону океана.

Фрагменты рифтогенного базит-гранитного магматизма фиксируются и в более южных частях Центрально-Уральского поднятия, примыкающих с запада к зоне ГУР (Уфалейский блок, зона Уралтау). В центральной части Уфалейского блока гранитогнейсы и ассоциированные с ними амфиболиты (в составе егустинской и слюдяногорской свит) по геохимическим характеристикам близки к рифтогенным образованиям среднего рифея БМА (Холоднов и др., 2006; Шардакова и др., 2005). С этим согласуется наличие в восточной части Уфалейского блока месторождений и рудопоявлений магнетит-гематит-ильменитовых руд, таких как Анциферовское, Маукское, Захаровское, Теплогорское, Куртинское, которые представляют собой метаморфизованные аналоги титаномагнетитовых и ильменитовых руд, выделяемых на Южном Урале в кусинский тип. Наличие в метаморфизованных базитах Уфалейского блока данной **Fe-Ti минерализации**, близкой по составу к среднерифейским месторождениям БМА, – это независимый аргумент в пользу пространственной, возрастной и генетической связи охарактеризованных структурно-формационных мегазон западного склона Южного Урала (БМА и Уфалейского блока).

Восточная граница проявлений среднерифейского рифтогенеза в краевой части ВЕП могла быть и более удаленной на восток. Фрагменты микроконтинентальных рифейских рифтогенных структур могут находиться в зоне аккреции, наряду с различными по возрасту островодужно-океаническими террейнами восточного склона Урала, позднее приращенными к краю ВЕП. Фрагменты рифтогенных микроконтинентальных блоков, а также офиолитовых комплексов, имеющие позднерифейско-вендский возраст, известны, например, в максютовском эклогит-глаукофановом комплексе, их наличие предполагается и в сысертско-ильменогорском комплексе (Краснобаев и др., 1998; Пучков, 2010).

Напротив, в казахстанской части Южного Урала (Эбетинская зона) выделен вендский лушниковский надсубдукционный вулканогенно-осадочный комплекс с возрастом 590 млн лет (циркон в туфах риолитов), а на Полярной окраине ВЕП обнаружены фрагменты островодужных и надсубдукционных комплексов с возрастом 730–590 млн лет (Кузнецов и др., 2005; Куликова и др., 2012; Пучков, 2010; Рязанцев, 2016; Самыгин и др., 2010) – все эти факты говорят об обстановке активной континентальной окраины и позволяют предполагать на-

личие океана к востоку от ВЕП в позднем протерозое и венде.

Изложенные представления о начальном времени раскрытия Уральского океана и формирования одной из его континентальных окраин (восточная периферия ВЕП), основанные на новых фактических данных, согласуются с рядом концепций, цитированных во введении (Зоненшайн, 1990; Самыгин и др., 2010; Scarrow et al., 2001; и др.), которые также обосновывают существование океанического бассейна к востоку от ВЕП на протяжении рифея, венда, раннего и среднего палеозоя.

Исследования проведены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-05-00576 и проекта ФАНО и УрО РАН № 15-18-5-24.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.А. (1984) Рифейско-вендский магматизм западного склона Южного Урала. М.: Наука, 136 с.
- Алексеев А.А., Алексеева В.Г., Ковалев С.Г. (1992) Кусинско-Копанский расслоенный интрузивный комплекс: новые данные, представления и перспективы. Уфа: Баш. ИЦ УрО РАН, 20 с.
- Горожанин В.М. (1998) Первичный изотопный состав стронция в магматических комплексах Южного Урала. *Магматизм и геодинамика*. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 98-108.
- Душин В.А. (1997) Магматизм и геодинамика палеоконтинентального сектора севера Урала. М.: Недра, 213 с.
- Золов К.К., Левин В.Я., Мормиль С.И., Шардакова Г.Ю. (2004) Минерогения и месторождения редких металлов, молибдена, вольфрама Урала. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 336 с.
- Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. (1990) Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн. 1. М.: Недра, 328 с.
- Иванов К.П. (1978) Древнейшая платформенная вулканогенная формация на Урале. *Вулканические образования Урала. Тр. Ин-та геологии и геохимии УНЦ АН СССР*. Вып. 134, 50-68.
- Иванов К.С. (1998) Основные черты геологической истории (1.6–0.2 млрд лет) и строения Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 252 с.
- Иванов К.С., Конторович В.А., Пучков В.Н., Федоров Ю.Н., Ерохин Ю.В. (2014) Тектоника Урала и фундамент западной Сибири: основные черты геологического строения и развития. *Региональная геология*, (2), 22-35.
- Карпухина Е.В., Первов В.А., Журавлев Д.З. (2001) Петрология щелочного вулканизма – индикатора поздневендского рифтогенеза, западный склон Урала. *Петрология*, 9(5), 480-503.
- Карстен Л.А., Иванов К.С., Маслов А.В., Банквиц П., Дульски П. (1997) Природа машакской вулканогенно-осадочной ассоциации Башкирской антиклинория: новые геохимические данные. *Рифей Северной Евразии. Геология. Общие проблемы стратиграфии*. Екатеринбург: УрО РАН, 155-165.
- Краснобаев А.А., Давыдов В.А., Чередниченко Н.В. (1998) Цирконовая геохронология ильменогорской

- свиты. *Ежегодник-1997*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 157-160.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Родионов Н.В., Нехорошева А.Г., Кисеева К.Н. (2008) Ахмеровский гранитный массив – представитель мезопротерозойского интрузивного магматизма на Южном Урале. *Докл. АН*, **418**(2), 241-246.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В., Лепихина Е.Н. (2013) Цирконология навышских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале. *Докл. АН*, **448** (4). 437-442.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. (2015) U-Pb (SHRIMP) возраст цирконов гранитов и субстрата Мазаринского массива (Южный Урал). *Докл. АН*, **463**(2), 206-212.
- Краснобаев А.А., Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Монтеро П. (2006) Цирконовый возраст габбро и гранитоидов кузинско-копанского комплекса (Южный Урал). *Ежегодник-2005*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 300-303.
- Крупенин М.Т. (2004) Минерагеническое и геодинамическое значение среднерифейского времени на западном склоне Южного Урала. *Докл. АН*, **399**(4), 503-505.
- Крупенин М.Т., Кузнецов А.Б., Константинова Г.В. (2013) Особенности Sr-Nd систематики магнетитов Паленихинского месторождения (Саткинское рудное поле, Южный Урал). *Ежегодник-2012*. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 160, 249-255.
- Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоратина О.В., Герцева М.В. (2005) Доордовикские гранитоиды Тимано-Уральского региона и эволюция протоуралид-тиманид. Сыктывкар: Геопринт, 100 с.
- Куликова К.В., Удоратина О.В., Шуйский А.С. (2012) Гранитоиды полярноуральского комплекса: состав и геотектоническая позиция. *Современные проблемы геохимии*. Мат-лы Всероссийского совещания к 95-летию со дня рождения акад. Л.В. Таусона. Иркутск: СО РАН, 155-157.
- Ларин А.М. (2011) Граниты рапакиви и ассоциирующие породы. СПб.: Наука, 402 с.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. (2001) Рифей западного склона Южного Урала: (классические разрезы, седименто- и литогенез, минералогия, геологические памятники природы). Т. 1. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 351 с.
- Нечеухин В.М., Душин В.А., Волчек Е.Н. (2012) Геодинамические системы основных периодов формирования Тимано-Уральского сегмента Евразии. *Литосфера*, (2), 3-20.
- Носова А.А., Горожанин В.М., Ларионова Ю.О., Дубинина Е.О. (2009) Изотопные (Sm-Nd, Rb-Sr, O) особенности позднекембрийских долеритов и пикритов западного Урала: пример двух контрастных изотопно-геохимических типов внутриплитного магматизма. *Изотопные системы и время геологических процессов. Т. II*. Мат-лы IV Российской конференции по изотопной геохронологии. СПб., 63-65.
- Носова А.А., Сазонова Л.В., Каргин А.В., Ларионова Ю.О., Горожанин В.М., Ковалев С.Г. (2012) Мезопротерозойская внутриплитная магматическая провинция западного Урала: основные петрогенетические типы пород и их происхождение. *Петрология*, **20**(4), 392-428.
- Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Крупенин М.Т., Горюхов И.М., Каурова О.К., Маслов А.В., Горюховский Б.М. (2014) U-Pb систематика протерозойских магнетитов Саткинского месторождения Южного Урала: источник флюида и возраст. *Докл. АН*, **456**(2). 219-222.
- Парначев В.П. (1981) Вулканические комплексы и тектонический режим западного склона Южного Урала в позднем докембрии. *Древний вулканизм Южного Урала*. Свердловск: УрО РАН, 18-30.
- Петров Г.А. (2016) Геология допалеозойских комплексов средней части Уральского подвижного пояса. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 41 с.
- Петров Г.А., Маслов А.В., Ронкин Ю.Л. (2005) Допалеозойские магматические комплексы Кваркушко-Каменногорского антиклинория (Средний Урал): новые данные по геохимии и геодинамике. *Литосфера*, (4), 42-69.
- Попов В.С., Богатов В.И., Журавлев Д.З. (2002) Источники гранитных магм и формирование земной коры Среднего и Южного Урала: Sm-Nd и Rb-Sr изотопные данные. *Петрология*, **10**(4), 389-410.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: Даурия, 280 с.
- Пучков В.Н. (2012) Дайковые рои Урала и ассоциирующие с ними магматические комплексы. *Геотектоника*, (1), 42-52.
- Ронкин Ю.Л., Гердес А., Несбит Р. (2015) Циркон гранитов рапакиви и ассоциирующих пород Южного Урала: REE и Lu-Hf изотопные ограничения. *Ежегодник-2014*. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 162, 222-228.
- Ронкин Ю.Л., Иванов К.С., Шмелев В.Р., Лепихина О.П. (2003) Sm-Nd изотопное датирование габбро-норита Кумбинского массива: Платиноносный пояс Урала. *Мат-лы II Российской конф. по геохронологии*. СПб.: СПбГУ, 424-427.
- Рязанцев А.В. (2016) Вендский надсубдукционный магматизм на юге зоны Уралтау (Южный Урал). *Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Мат-лы 11-й Межрегиональной науч-практ. конф., посвященной 65-летию Института геологии УНЦ РАН*. Уфа: ДизайнПресс, 21-23.
- Самыгин С.Г., Белова А.А., Рязанцев А.В., Федотова А.А. (2010) Фрагменты вендской конвергентной окраины на Южном Урале. *Докл. АН*, **432**(5), 644-649.
- Сазонова Л.В., Носова А.А., Ларионова Ю.О., Каргин А.В., Ковалев С.Г. (2011) Мезопротерозойские пикриты восточной окраины Восточно-Европейской платформы: петрогенезис и особенности составов оливина и клинопироксена. *Литосфера*, (3), 64-83.
- Тектоника Урала (Объяснительная записка к тектонической карте Урала масштаба 1 : 1 000 000 (А.В. Пейве, С.Н. Иванов, В.М. Нечеухин, А.С. Перфильев, В.Н. Пучков) (1977) М.: Наука, 120 с.
- Ферштатер Г.Б. (2013) Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 368 с.
- Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Бородин Н.С. (2001) Условия формирования и генезис рифейских ильменит-титаномагнетитовых месторождений Урала. *Геология рудных месторождений*, **43**(2), 112-128.

- Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Прибавкин С.В. (2004) Габбро-диабазовые дайки и силлы в ранне-среднерифейских породах Башкирского антиклинория. *Ежегодник-2003*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 201-206.
- Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Прибавкин С.В., Бородин Н.С., Бочарникова Т.Д. (2005) Рифтогенный магматизм и оруденение Южного Урала. *Геология рудных месторождений*, **47**(5), 421-443.
- Ханчук А.И., Мартынов Ю.А. (2011) Тектоника и магматизм границ скольжения океанических и континентальных литосферных плит. *Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит*. Владивосток: Дальнаука, 45-49.
- Холоднов В.В., Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С., Прибавкин С.В. (2005) Геохимическая типизация среднерифейских диабазовых даек зоны Зюраткульского глубинного разлома (Башкирский антиклинорий, Ю. Урал). *Ежегодник-2004*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 225-232.
- Холоднов В.В., Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С., Шардакова Г.Ю., Прибавкин С.В., Шагалов Е.С., Бочарникова Т.Д. (2006) Гранитоидный магматизм зоны сочленения Урала и Восточно-Европейской платформы (Южный Урал). *Литосфера*, (3), 3-27.
- Холоднов В.В., Ферштатер Г.Б., Ронкин Ю.Л., Бородин Н.С., Прибавкин С.В., Лепихина О.П. (2010) Sm-Nd и Rb-Sr возраст габброидов, гранитоидов и титаномагнетитовых руд из расслоенных интрузий Кусинско-Копанского комплекса (Южный Урал). *Докл. АН*, **432**(5), 650-654.
- Холоднов В.В., Шагалов Е.С. (2012) Верхний и нижний возрастные рубежи среднерифейских рудоносных (Ti-Fe-V) интрузий кусинско-копанского комплекса на Ю. Урале: U-Pb датирование цирконов Медведевского месторождения. *Докл. АН*, **446**(4), 432-437.
- Холоднов В.В., Шагалов Е.С., Бочарникова Т.Д., Коновалова Е.В. (2015). Состав и условия формирования Ti-Fe-V оруденения в двупроксеновом габбро Медведевского месторождения (Ю. Урал). Часть I. Петрохимическая и геохимическая характеристика пород и руд. *Литосфера*, (6), 69-83.
- Шагалов Е.С., Холоднов В.В., Носова А.А., Солошенко Н.Г., Стрелецкая М.В., Киселева Д.В., Горожанин В.М. (2014) К вопросу о возрасте вмещающих пород редкометалльного месторождения Сибирка: Sm-Nd- и U-Pb(циркон) изотопные данные. *Ежегодник-2013*. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 161, 36-366.
- Шардакова Г.Ю., Шагалов Е.С., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Попова О.Ю. (2005) Rb-Sr возраст и геохимия интрузивных гранитоидов Уфалейской зоны (Ю. Урал). *Докл. АН*, **405**(6), 799-803.
- Barrat J.-A., Fourcade S., Jahn B.-M., Cheminee J.-L., Capdevila R. (1998) Isotope (Sr, Nd, Pb, O) and trace-element geochemistry of volcanics from the Erta-Ale Range (Ethiopia). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **80**, 85-100.
- Ernst R.E. (2014) Large Igneous provinces. Cambridge University Press, 651 p.
- Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Hamilton M. (2006) Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia. *Геологический сборник*, (5). Уфа: ИГ БНЦ РАН, 119-161.
- Krasnobaev A.A., Popov V.S., Belyatsky V.B. (2011) Zirconology of nepheline syenites of Berdyaush pluton (Southern Urals). *Dokl. Earth Sciences*, **436**(3), 377-380.
- Maslov A.V., Erdtmann B.D., Ivanov K.S., Ivanov S.N., Krupenin M.T. (1997) The main tectonic events, depositional history and the palaeogeography of the southern Urals during the Riphean-Early Palaeozoic. *Tectonophysics*, **276**, 313-335.
- Rogers N.W. (1993) The isotope and trace element geochemistry of basalts from the volcanic islands of the southern Red sea. *Spec. Publ. Geol. Soc. London*. (76), 455-467.
- Scarraw J.H., Pease V., Fleutelot C., Dushin V. (2001) The late Neoproterozoic Enganepe ophiolite, Polar Urals, Russia: an extension of the Cadomian arc. *Precambrian Research*, **110**, 255-275.
- Volker F., Altherr R., Jochum K.P., McCulloch M.T. (1997) Quaternary volcanic activity of the southern Red sea: new data and assessment of models on magma sources and Afar plume-lithosphere interaction. *Tectonophysics*, **278**, 15-29.

Riphean magmatism and ore formation, preceding the disclosure of the Uralian Paleoocean (western slope of the Southern Urals)

V. V. Holodnov*, G. B. Fershtater*, E. S. Shagalov***, G. Yu. Shardakova****

*Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of RAS

**Ural State Mining University

The analysis of the evolution of composition and mineral occurrences of the Low and Middle Riphean magmatic rocks from the riftogenic structures of the Bashkirian anticlinorium involving of some neighboring structures from the western slope of the Southern Urals was produced. In time the evolution is following: from rocks having the geochemical features as OIB (trachybasalts of the Sibirka deposit) and rocks as E-MORB (volcanic rocks of the Mashak formation, basic and acid rocks of the Kusa-Kopan' complex, dyke swarms etc.) to rocks with N-MORB peculiarities (Nazyam metabasites). This evolution agrees with the change of isotopic and geochemical parameters. Initial ratios of Nd isotopes of magmatic rocks and their ore-metasomatic haloes vary from the negative values noting to the formations from mature continental crust (gabbro and Ti-Mt-Ilm ores of Kusa-Kopan' complex deposits) to positive values ($\epsilon_{Nd} +4 \dots +5$ and more of Nazyam amphibolites), it reflects the increase of the depletion degree of the Riphean-Vendian lithospheric mantle and the evolution of magmatic and fluid sources in time. Described regularity for the age interval 1750–1200 Ma as well as data on Nd and Sr isotopes for magmatic rocks of continental crust formation of Uralian epiocenic orogen indicate the possible disclosure of the oceanic basin to the east of the East European platform during the Middle Riphean.

Key words: *rifting, Low and Middle Riphean, magmatism, Uralian paleocean, ore formation.*

REFERENCES

- Alekseev A.A. (1984) *Rifeisko-vendskii magmatizm zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala* [Riphean-Vendian magmatism of the western slope of the South Urals]. Moscow, Nauka Publ., 136 p. (In Russian)
- Alekseev A.A., Alekseeva V.G., Kovalev S.G. (1992) *Kusinsko-Kopanskii rassloennyi intruzivnyi kompleks: novye dannye, predstavleniya i perspektivy* [Kusinsko-Kopansky layered intrusive complex: new data, representations and perspectives]. Ufa, Bashkir. NTs UrO RAN, 20 p. (In Russian)
- Gorozhanin V.M. (1998) Primary strontium isotopic composition in magmatic complexes of the Southern Urals. *Magmatism i geodinamika* [Magmatism and geodynamics]. Ekaterinburg, IGG UB of RAS, 98-108. (In Russian)
- Dushin V.A. (1997) *Magmatizm i geodinamika paleokontinental'nogo sektora severa Urala* [Magmatism and geodynamics of the paleocontinental sector of north of the Urals]. Moscow, Nedra Publ., 213 p. (In Russian)
- Zoloev K.K., Levin V.Ya., Mormil' S.I., Shardakova G.Yu. (2004) *Minerageniya i mestorozhdeniya redkikh metallov, molibdena, vol'frama Urala* [Mineragenesis and deposits of rare metals, Mo, W from the Urals]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN Publ., 336 p. (In Russian)
- Zonenshayn L.P., Kuz'min M.I., Natapov L.M. (1990) *Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR* [Tectonics of the lithospheric plates of the ground of USSR]. Kn. 1. Moscow, Nedra Publ., 328 p. (In Russian)
- Ivanov K.P. (1978) The most ancient platform volcanic suite on the Urals. *Vulkanicheskie obrazovaniya Urala. Trudy IGG UNC AN SSSR* [Volcanic formations of the Urals. Proc. of the IGG USC AN SSSR], **134**, 50-68. (In Russian)
- Ivanov K.S. (1998) *Osnovnye cherty geologicheskoi istorii (1.6–0.2 mlrd let) i stroeniya Urala* [The main features of the geological evolution (1.6–0.2 Ga) and structures of the Urals]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 252 p. (In Russian)
- Ivanov K.S., Kontorovich V.A., Puchkov V.N., Fedorov Yu.N., Erokhin Yu.V. (2014) Tectonics of the Urals and the basement of the West Siberian: main features of the geological structure and evolution. *Regional'naya geologiya*, (2), 22-35. (In Russian)
- Karpukhina E.V., Pervov V.A., Zhuravlev D.Z. (2001) Petrology of the alkali volcanic rocks as an indicator of upper Vendian rifting, the western slope of the Urals. *Petrologiya*, **9**(5), 480-503. (In Russian)
- Karsten L.A., Ivanov K.S., Maslov A.V., Bankvitz P., Dulski P. (1997) The nature of Mashak volcano-sedimentary formation of the Bashkirian anticlinorium: a new data. *Rifei Severnoi Evrazii. Geologiya. Obshchie problemy stratigrafii*. Ekaterinburg, UrO RAN, 155-165. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Davydov V.A., Cherednichenko N.V. (1998) Zircon geochronology of the Ilmenogorsk formation. *Ezhegodnik-1997*. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 157-160. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Rodionov N.V., Nekhorosheva A.G., Kiseeva K.N. (2008) Akhmerovo granite massif – the member of mezoproterozoic granite magmatism of the Southern Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **418**(2), 241-246. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Busharina S.V., Lepikhina E.N. (2013) Zirconology of the Navysh volcanic rocks of the Ai formation and problem of the low boundary of Riphean on the South Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **448**(4), 1-6. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V. (2015) U-Pb (SHRIMP)-age of zircons from granites of substratum of the Mazara massif (South Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **463**(2), 206-212. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Fershtater G.B., Bea F., Montero P.

- (2006) Zircon age of gabbro and granites from Kusa-Kopan' complex (South Urals). *Ezhegodnik-2005*. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 300-303. (In Russian)
- Krupenin M.T. (2004) Mineralogical and geodynamical importance of the Middle Riphean time on the western slope of the South Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **399**(4), 503-505. (In Russian)
- Krupenin M.T., Kuznetsov A.B., Konstantinova G.V. (2013) Specifications and Sr-Nd system of magnesites from Palenikha deposit (Satka ore field, South Urals). *Ezhegodnik-2012*. Proc. of IGG UrO RAN. V. 160, 249-255. (In Russian)
- Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Udoratina O.V., Gertseva M.V. (2005) *Doordovikskie granitoidy Timano-Ural'skogo regiona i evolyutsiya protouralid-timanid* [Pre-Ordovisian granitoides of the Timan-Uralian region and the evolution of Protouralides-Timanides]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 100 p. (In Russian)
- Kulikova K.V., Udoratina O.V., Shuiskii A.S. (2012) **Granitoids of the Polar Uralian complex: composition and geodynamic position. Sovremennye problemy geokhimii. Materialy Vserossiyskogo soveschaniya k 95-letiyu L.V. Tausona** [Modern problems of Geochemistry. All-Russian Conference dedicate to 95-th annial L.V. Tauson]. Irkutsk, SO RAN, 155-157. (In Russian)
- Larin A.M. (2011) *Granity rapakivi i assotsiiruyushchie porody* [Rapakiwi-granites and associated rocks]. St.-Petersburg, Nauka Publ., 402 p. (In Russian)
- Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. (2001) *Rifei zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala: klassicheskie razrezy, sedimento- i litogenez, minerageniya, geologicheskie pamyatniki prirody* [The Riphean of the western slope of the South Urals: classic cross-sections, sedimento-lithogenesis, mineragenia, geological memorials of nature]. V. 1. Ekaterinburg, IGG UrO RAN Publ., 351 p. (In Russian)
- Necheukhin V.M., Dushin V.A., Volchek E.N. (2012) Geodynamic systems of the main stages of formation of the Timan-Urals sectors of the Eurasia. *Litosfera*, (2), 3-20. (In Russian)
- Nosova A.A., Gorozhanin V.M., Larionova Yu.O., Dubinina E.O. (2009) Izotopic (Sm-Nd, Rb-Sr, O) features of the Late Pre-Cambrian dolerites and picrites of the West Urals: the sample of two contrast isotopic-geochemical types of intraplate magmatism). *Izotopnye sistemy i vremya geologicheskikh protsessov. Tom II. Materialy IV Rossiiskoi konferentsii po izotopnoi geokhronologii* [Isotop systems and age of geological processes. V. 2. Proc. IV Russia Conference about isotopic geochronology]. St.-Petersburg, 63-65. (In Russian)
- Nosova A.A., Sazonova L.V., Kargin A.V., Larionova Yu.O., Gorozhanin V.M., Kovalev S.G. (2012) Meso-Proterozoic intraplate magmatic province of the West Urals. *Petrologiya*, **20**(4), 392-428. (In Russian)
- Ovchinnikova G.V., Kuznetsov A.B., Krupenin M.T., Gorokhov I.M., Kaurova O.K., Maslov A.V., Gorokhovskiy B.M. (2014) U-Pb-sistemization of Proterozoic magnesites of the Satka deposit from the South Urals: fluid source and age. *Dokl. Akad. Nauk*, **456**(2), 219-222. (In Russian)
- Parnachev V.P. (1981) Volcanic complexes and tectonic setting of the western slope of the Southern Urals in the Late Pre-Cambrian. *Drevnii vulkanizm Yuzhnogo Urala* [Old volcanism of the Southern Urals]. Sverdlovsk, UrO RAN Publ., 18-30. (In Russian)
- Petrov G.A. (2016) *Geologiya dopaleozoyskikh kompleksov srednei chasti Ural'skogo podvizhnogo poyasa*. Avtoref. dis. ... dokt. geol.-min. nauk [Geology of Pre-Paleosioc complexes of the central part of the Urals Mobile Belt. Doctoral thesis]. Ekaterinburg, 41 p. (In Russian)
- Petrov G.A., Maslov A.V., Ronkin Yu.L. (2005) Pre-Paleozoic magmatic complexes of the Kvarqush-Kamennogorsk anticlinorium (Middle Urals): a new data about geochemistry and geodynamic settings. *Litosfera*, (4), 42-69. (In Russian)
- Popov V.S., Bogatov V.I., Zhuravlev D.Z. (2002) Source of granite magmas and genesis of the earth crust of the Middle and Southern Urals: Sm-Nd and Rb-Sr isotopic data. *Petrologiya*, **10**(4), 389-410. (In Russian)
- Puchkov V.N. (2010) *Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and Cis-Urals (actual problems of stratigraphy, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, Dauriya Publ., 280 p. (In Russian)
- Puchkov V.N. (2012) Dyke swarms of the Urals and their associated magmatic complexes. *Geotektonika*, (1), 42-52. (In Russian)
- Ronkin Yu.L., Gerdes A., Nesbit R. (2015) Zircon from rapakiwi-granites and their associated rocks of the South Urals: REE and Lu-Hf isotopic frames. *Ezhegodnik-2014*. Proc. of IGG UB of RAS. V. 162, 222-228. (In Russian)
- Ronkin Yu.L., Ivanov K.S., Shmelev V.R., Lepikhina O.P. (2003) Sm-Nd isotopic data of the gabbro-norite of Kumba massif: Platinum Bels of the Urals. *Mat-ly II Rossiiskoi konf. po geokhronologii* [Materials of II-nd Russian Conference about geochronology]. St.-Petersburg, St.-Petersburg St. Univ. Publ., 424-427. (In Russian)
- Ryazantsev A.V. (2016) Vendian suprasubduction magmatism of the south part of the Uraltau zone (South Urals). *Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geologii Bashkortostana, Urala i sopredel'nykh territorii. 11-ya Mezhhregional'naya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 65-letiyu Instituta geologii UNTs RAN* [Geology, Minerals and Geo-ecology problems of Bashkortostan, the Urals and adjacent territories: Materials of the 11 th Inter-regional scientific-practical conference, Dedicated to the 65th anniversary of the Institute of Geology USC of RAS]. Ufa, DizainPress, 21-23. (In Russian)
- Samygin S.G., Belova A.A., Ryazantsev A.V., Fedotova A.A. (2010) Fragments of the Vendian continental margin on the South Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **432**(5), 644-649. (In Russian)
- Sazonova L.V., Nosova A.A., Larionova Yu.O., Kargin A.V., Kovalev S.G. (2011) Mesoproterozoic picrites of the eastern frame of the East European Platform: perpgenesis and peculiarities of olivine and clinopyroxene content. *Litosfera*, (3), 64-83. (In Russian)
- Tektonika Urala* (A.V. Peive, S.N. Ivanov, V.M. Necheukhin, A.S. Perfil'ev, V.N. Puchkov) (1977) [Tectonics of the Urals (Explanatory note to the Urals tectonic map scale of 1: 1 000 000)]. Moscow, Nauka Publ., 120 p. (In Russian)
- Fershtater G.B. (2013) *Paleozoyskii intruzivnyi magmatizm Srednego i Yuzhnogo Urala* [Paleozoic intrusion magmatism Middle and Southern Urals]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 368 p. (In Russian)
- Fershtater G.B., Holodnov V.V., Borodina N.S. (2001) Gen-

- eration conditions and genesis of the Riphean Ti-Mt deposits of the Urals. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **43**(2), 112-128. (In Russian)
- Fershtater G.B., Holodnov V.V., Pribavkin S.V. (2004) Gabbro-diabase dykes and sills in the Early-Middle Riphean rocks of the Bashkirian anticlinorium. *Ezhegodnik-2003*. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 201-206. (In Russian)
- Fershtater G.B., Holodnov V.V., Pribavkin S.V., Borodina N.S., Bocharnikova T.D. (2005) Riftogenic magmatism and ore of the Southern Urals. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **47**(5), 421-443. (In Russian)
- Hanchuk A.I., Martynov Yu.A. (2011) Tectonics and magmatism of the boundaries of sliding of continental and oceanic lithospheric plates. *Geologicheskije protsessy v obstanovkakh subdukcii, kollizii i skol'zheniya litosfernykh plit* [Geological processes in environments subduction, collision and slip lithospheric plates]. Vladivostok, Dal'nauka, 45-49. (In Russian)
- Holodnov V.V., Fershtater G.B., Borodina N.S., Pribavkin S.V. (2005) Geochemical typization of the Middle Riphean diabase dykes from Zuratkul' fault zone (Bashkirian anticlinorium, the Southern Urals). *Ezhegodnik-2004*. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 225-232. (In Russian)
- Holodnov V.V., Fershtater G.B., Borodina N.S., Shardakova G.Yu., Pribavkin S.V., Shagalov E.S., Bocharnikova T.D. (2006) Granite magmatism of junction zone between the Urals and East European platform (the Southern Urals). *Litosfera*, (3), 3-27. (In Russian)
- Holodnov V.V., Fershtater G.B., Ronkin Yu.L., Borodina N.S., Pribavkin S.V., Lepikhina O.P. (2010) Sm-Nd, Rb-Sr age of gabbro, granites i titanomagnetite ores from layered intrusion of Kusa-Kopan' complex (the Southern Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **432**(5), 650-654. (In Russian)
- Holodnov V.V., Shagalov E.S. (2012) Upper and lower age boundaries of the Middle Riphean ore-bearing (Ti-Fe-V) intrusions of Kusa-Kopan' complex (South Urals): U-Pb dating of zircons of Medvedevka deposit. *Dokl. Akad. Nauk*, **446**(4), 432-437. (In Russian)
- Holodnov V.V., Shagalov E.S., Bocharnikova T.D., Konovalova E.V. (2015) Composition and generation condition of Ti-Fe-V ores from two-pyroxene gabbro of the Medvedevka deposit (S. Urals). Part II. Petrochemical and geochemical features of rocks and ores. *Litosfera*, (6), 69-83. (In Russian)
- Shagalov E.S., Holodnov V.V., Nosova A.A., Soloshenko N.G., Streletskaya M.V., Kiseleva D.V., Gorozhanin V.M. (2014) To question about the age of host rocks for Sibirka deposit (rare metals): Sm-Nd- and U-Pb(zircon) isotopic data. *Ezhegodnik-2013*. Proc. IGG UrO RAN. V. 161, 362-366. (In Russian)
- Shardakova G.Yu., Shagalov E.S., Ronkin Yu.L., Lepikhina O.P., Popova O.Yu. (2005) Rb-Sr age and the geochemistry of intrusive granites from the Ufaley zone (South Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **405**(6), 799-803. (In Russian)
- Barrat J.-A., Fourcade S., Jahn B.-M., Cheminee J.-L., Capdevila R. (1998) Isotope (Sr, Nd, Pb, O) and trace-element geochemistry of volcanics from the Erta-Ale Range (Ethiopia). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **80**, 85-100.
- Ernst R.E. (2014) Large Igneous provinces. Cambridge University Press, 651 p.
- Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Hamilton M. (2006) Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia. *Geologicheskii sbornik*, (5). Ufa, IG BB of RAS, 119-161.
- Krasnobaev A.A., Popov V.S., Belyatsky V.B. (2011) Zirconology of nepheline syenites of Berdyash pluton (Southern Urals). *Dokl. Earth Sciences*, **436**(3), 377-380.
- Maslov A.V., Erdtmann B.D., Ivanov K.S., Ivanov S.N., Krupenin M.T. (1997) The main tectonic events, depositional history and the palaeogeography of the southern Urals during the Riphean-Early Palaeozoic. *Tectonophysics*, **276**, 313-335.
- Rogers N.W. (1993) The isotope and trace element geochemistry of basalts from the volcanic islands of the southern Red sea. *Spec. Publ. Geol. Soc. London*, (76), 455-467.
- Scarrow J.H., Pease V., Fleutetot C., Dushin V. (2001) The late Neoproterozoic Enganepe ophiolite, Polar Urals, Russia: an extension of the Cadomian arc. *Precambrian Research*, **110**, 255-275.
- Volker F., Altherr R., Jochum K.P., McCulloch M.T. (1997) Quaternary volcanic activity of the southern Red sea: new data and assessment of models on magma sources and Afar plume-lithosphere interaction. *Tectonophysics*, **278**, 15-29.