

## ДООРДОВИКСКИЙ МАГМАТИЗМ ЗАПАДНОГО СКЛОНА УРАЛА: ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, ГЕТЕРОГЕННОСТЬ СУБСТРАТА, ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ

© 2018 г. Г. Ю. Шардакова<sup>1,2</sup>, В. В. Холоднов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург. E-mail: shardakova@igg.uran.ru

<sup>2</sup> Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

### Введение

Уральский эпикоеанический ороген, как известно, характеризуется длительной и сложной геологической историей, в нем сохранились осадочные и магматические свидетельства всех стадий цикла Вильсона. Наименьшее количество дискуссий вызывают обстановки ранних стадий развития — импульсы континентального рифтогенеза в краю Восточно-Европейской платформы (ВЕП), ранее являющейся частью суперконтинента. Возрастные интервалы и природа событий, связанных с финальными стадиями внутриплитного рифтинга, переходом к океаническому спредингу, а затем — к началу субдукции, трактуются не столь однозначно. Изучение петрогеохимии, геохронологических и изотопных характеристик магматитов западного склона Урала (и его ближайшего северного обрамления) (рис. 1), возраст которых лежит в интервале от рифея до кембрия, позволяет реконструировать геодинамические обстановки вдоль всей протяженной границы Урала с ВЕП и уточнить особенности ранних этапов эволюции палеоокеана.

### Материалы и методы

Авторами использованы многочисленные литературные данные, относящиеся к магматическим породам (в основном это гранитоидные комплексы), приуроченным к самым северным и самым южным частям границы Урала с ВЕП. Привлечены также материалы по гранитоидам Тимано-Печорского региона (ТПР) — Печорской плиты (Тиманский + Большеземельский мегаблоки), строение которой во многом сходно с уральскими структурами, что предполагает часть совместной геологической истории [15].

Непосредственно работы авторов касаются объектов, расположенных в южном секторе западного склона Урала — Башкирского мегантиклинория (БМА), Уфалейского блока (УБ). Приводимые данные по циркононой U-Pb геохронологии пород из этих структур были получены методами LA-ICP-MS, SIMS и SHRIMP в Университете Гранада (Испания), часть изотопных измерений проводилась на SHRIMP-2 в ЦИИ ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург). Sm-Nd и Rb-Sr системы анализировались методами ICP-MS (Neptus Plus) и TIMS (Triton Plus) в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН; там же производились определения концентраций элементов, использованных для петрогеохимических построений: петрогенные компоненты определялись рентгенофлуоресцентным методом (VRA-30, EDX-8000); содержания элементов-примесей — методом ICP-MS (ELAN-9000).

### Петрогеохимические особенности, геохронология, изотопия

В докембрийское время в краевых структурах ВЕП и на западном склоне Урала неоднократно проявлялись импульсы внутриплитной рифтогенной активности, которые сопровождались внедрением магматических образований с соответствующими геохимическими параметрами. Один из древних эпизодов (*ранний рифей*) в БМА маркируется возрастом вулканитов айской свиты (U-Pb, базальты —  $1752 \pm 11$  млн лет, дациты —  $1635 \pm 30$  млн лет), которая с размывом и угловым несогласием залегает на породах Тараташского комплекса, являющегося возрастным аналогом архейско-протерозойского кристаллического фундамента ВЕП [9]. Затем (1600–1400 млн лет) возник крупный раннерифейский прогиб, выполненный толщей мелководных морских осадков существенно

Рис. 1. Тектоническая схема расположения объектов исследования (по [14, 15, 21], с дополнениями)

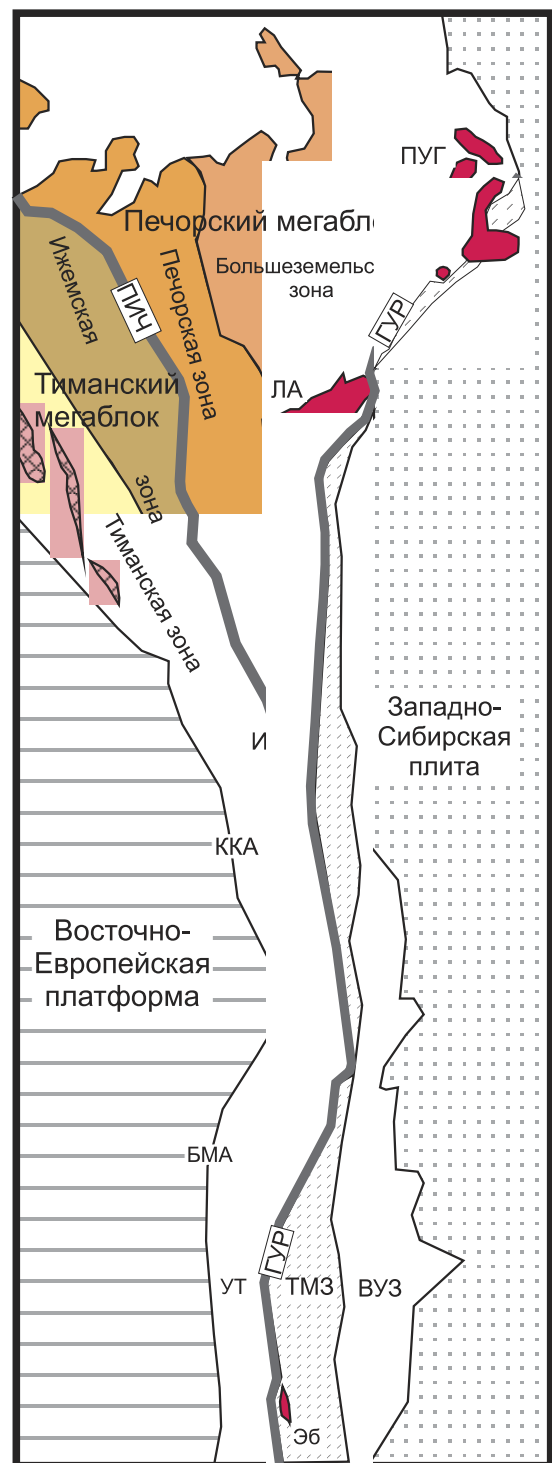
**Зоны разломов:** ПИЧ — Припечоро-Илыч-Чикшинская зона, ГУР — Главный Уральский разлом. ТМЗ — Тагило-Магнитогорская мегазона; ВУЗ — Восточно-Уральская мегазона. **Блоки с древним фундаментом, в пределах которых развиты магматические породы рифей-венд-кембрийского возраста (с севера на юг):** ПУГ — Полярноуральская группа, включающая поднятие Хараматалоу, Собское поднятие (с Енганепэйским, Манитанырд-Пайпудынским и Харбейским выступами), Оченырское поднятие; ЛА — Ляпинский антиклинорий (включая Кожимский блок); ИА — Ишеримский антиклинорий; ККА — Кваркушко-Каменногорский антиклинорий; УБ — Уфалейский блок; БМА — Башкирский мегантиклинорий; УТ — Уралтау; Эб — Эбетинская антиформа. Розовые блоки в контурах Тиманской зоны — выступы древнего фундамента. Остальные пояснения — непосредственно на рисунке.

карбонатного состава (саткинская, бакальская свиты). Время раннего диагенеза карбонатов саткинской свиты составляет  $1550 \pm 30$  млн лет (Pb-Pb метод) [13], осадочные породы секутся силлами и роями даек пикритов и долеритов, варьирующих по составу и возрасту.

На Южном Урале максимальная тектоно-магматическая активность имела место в *среднем рифее* (машакское рифтогенное событие), сформировалась крупная изверженная провинция (LIP) и Кувашко-Машакская рифтовая система. В состав LIP и в структуру последней, по мнению авторов, а также R. Ernst, В.Н. Пучкова, Ю.Л. Ронкина и др. [24, 31, 33], в БМА входят вулканы машакской свиты и ее аналогов, рои базитовых даек и силлов центральной части структуры, габбро и граниты (Рябиновский и Губенский массивы) рудоносной (Ti-Fe-V) Кусинско-Копанской группы интрузий, гранитоиды Бердяшского и Ахмеровского массивов, трахибазальты и сиенитоиды редкометаллоносного месторождения Сибирка. Возраст (U-Pb, Rb-Sr, Sm-Nd) данных объектов лежит в интервале 1390–1350 млн лет, по петрогеохимии они отвечают внутриплитным рифтогенным сериям [5, 6, 21, 22, 23, 27, 30 и др.].

Для гранитоидов Рябиновского и Губенского массивов  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  составляет 0.705485–0.70570,  $\epsilon\text{Nd}$  — около –2 (рис. 2). В этих гранитах цирконы, заимствованные из субстрата, имеют возраста от 2732 до 1942 млн лет. Для гранитов-рапакиви Бердяшского плутона приводятся величины  $\epsilon\text{Nd}$  от –5.0 до –7.3, для габброидов — до +2.8 [23, 24 и др.]. Первичное отношение изотопов Sr в бердяшских гранитах и габбро, по данным [5], около 0.7034; модельный Nd-возраст 3079–2092 млн лет. Трахиандезиты и базальтоиды месторождения Сибирка имеют  $\epsilon\text{Nd}$  (+4...+4.9) [27, 28] при  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70325$  [17]. Модельный Nd-возраст субстрата 1857, 2223 млн лет.

На Урале и в его обрамлении очень мало свидетельств Гренвилльской активности (конец среднего рифея), которая широко проявлена в Западной Европе (1300–1000 млн лет) и носит орогенный характер. На границе среднего и позднего рифея в ТПП внедрялись граниты 1056 млн лет (U-Pb, скв. 1-Ю. Болотная [1]). На субстрат для данных пород указывает возраст древних ядер



цирконов — от 2700 до 1600 млн лет, который коррелируется с возрастными детритовых цирконов из рифейских терригенных отложений барминской серии Северного Тимана [2, 16].

Для Северного Урала имеется одна датировка долерита [20] из силла среди кварцитоесчанников ишеримской свиты —  $1079 \pm 41$  млн лет.  $\epsilon Nd$  составляет +6.57, указывая на вещество деплезированной мантии в субстрате.

Для Ю. Урала датировки в интервале 1280–970 млн лет фиксируются (как этапы преобразований) в цирконах множества объектов в контурах БМА: Ахмеровском [6], Бердяушском [5, 21–23 и др.], Медведевском [27, 28] массивах, юрминском [30] комплексе. Pb-Pb возраст, определенный А.А. Краснобаевым для цирконов из гнейсов и амфиболитов УБ [18], лежит в интервале 1100–900 млн лет. Особенности строения, метаморфизма и состав пород позволяют предполагать,

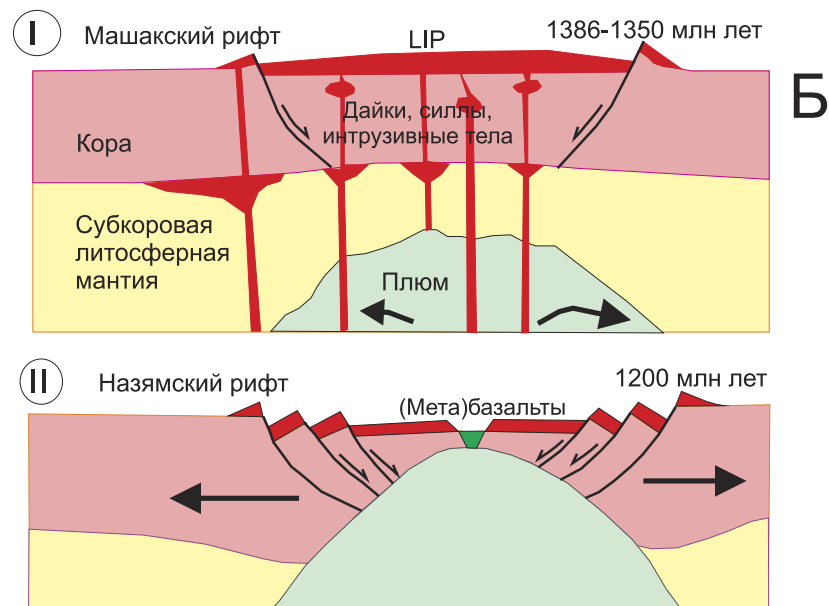
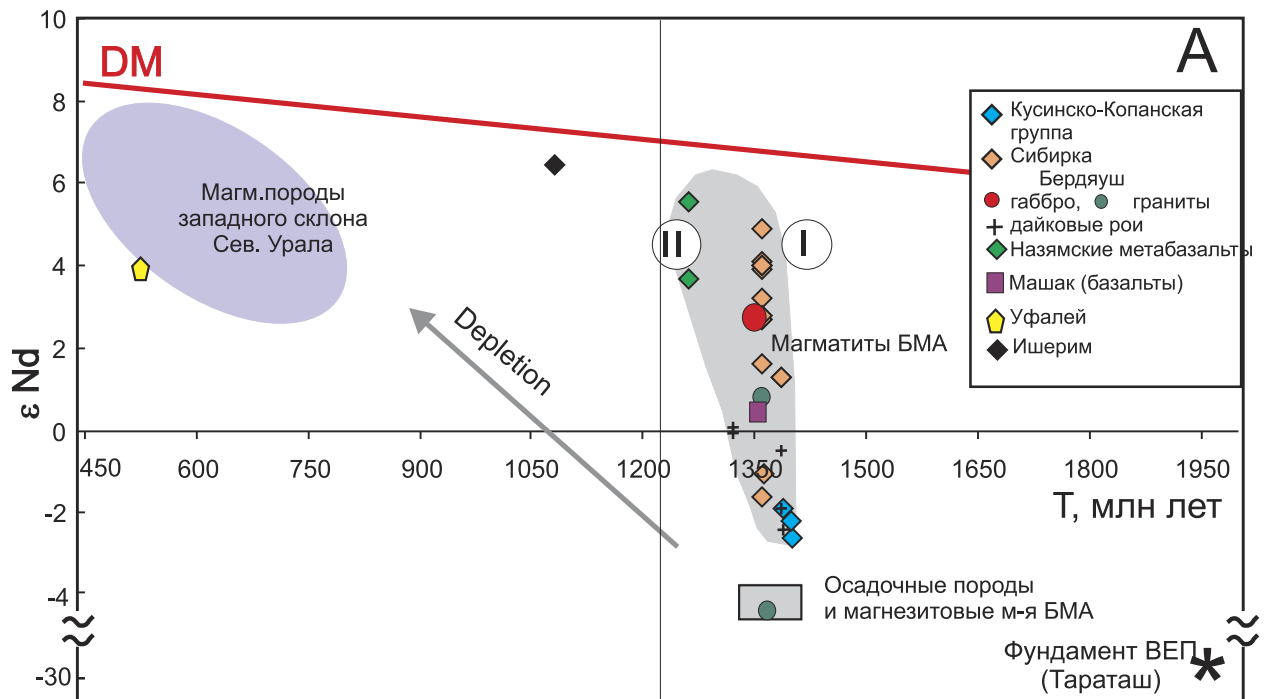


Рис. 2. А. Диаграмма  $\epsilon Nd - T$  для магматических пород западного склона Урала. Б. Схема эволюции магматизма БМА в интервале 1386–1200 млн лет

что последние могли иметь и более древний возраст, возможно, среднерифейский, но в результате преобразований метки его стерлись даже в цирконах, сохранив лишь многочисленные более молодые датировки (от 1100 до 240 млн лет включительно) [4, 7]. Имеются также гренвилльские датировки (K-Ar и Ar-Ar) по минералам [3]. Все это отражает возраст наложенных процессов. Цифры 1230–1010 млн лет, полученные М.Т. Крупениным [12] для месторождений флюорита, сидерита и металлонесных эксгалаций БМА, свидетельствуют об интенсивной флюидной миграции в осадочном бассейне на востоке ВЕП.

Во второй половине среднего рифея (1250–1150 млн лет) на севере БМА образовался Назямский грабен (рис. 2Б). Апобазальтовые амфиболиты обнажаются на одноименном хребте, образуя субмеридиональную полосу севернее г. Златоуст. Состав метавулканитов указанной структуры близок к N-MORB и характеризуется повышенным  $\epsilon Nd$  (до +5) [27].

Почти **амагматичный период в интервале 1200–750 млн лет**, по мнению авторов, мог быть связан с относительно медленным и длительным раскрытием рифейского палеоокеана.

Затем всплеск магматической активности фиксируется в интервале 746–700 млн лет. Следует отметить, что граница Урала с ВЕП имеет огромную протяженность, и разные ее участки на протяжении от Полярного Урала до крайнего юга развивались не вполне синхронно. Об этом говорят особенности строения осадочных толщ, метаморфических комплексов и данные по магматическим породам [14, 15]. В структурах Тимана, по-видимому, в верхнем рифее шла субдукция, ее отражение — граниты с возрастом 727 млн лет (Удоратина, устное сообщение). На Ю. Урале магматизм этого возрастного интервала представлен гранитами Барангуловского (725 млн лет) и Мазаринского (746–706 млн лет) массивов и базальтами аршинской серии БМА (732–707 млн лет) [6, 8, 10]; породы имеют характеристики рифтогенно-континентальных образований. Возраст субстрата субстрата гранитов Мазаринского массива составляет 1527–1548 млн лет (ядра в цирконах), преобразования древних зерен цирконов зафиксированы в интервале 1387–1338 млн лет, отражая, вероятно, связь с машакским рифтогенным событием.

В **верхнем рифее, венде и кембрии** на западном склоне Урала проявлялись тектоно-магматические процессы, синхронные с Кадомским орогенезом в Западной Европе, и сформировался пояс тиманид, по В.Н. Пучкову [21], или протоуралид — тиманид, по Н.Б. Кузнецову [14, 15]. К протоуралидам последний относит породы фундамента Западно-Уральской мегазоны, представленные позднедокембрийско-кембрийскими неравномерно метаморфизованными осадочными, вулканогенно-осадочными и вулканогенными образованиями, интрузиями габбро, гранитов, редко — офиолитов. Тиманиды структурно включают в себя Тиманский и Большеземельский мегаблоки, они представлены позднедокембрийско-кембрийскими комплексами складчатого фундамента Печорской плиты (ПП) и позднедокембрийско-среднекембрийскими комплексами, обнажающимися на Тимане. Это неравномерно дислоцированные и метаморфизованные в различных термодинамических условиях осадочные и вулканогенно-осадочные породы с интрузиями доордовикских гранитоидов. «...На Севере Урала протоуралиды — это тиманиды, вовлеченные в герцинские (уральские) коллизионные орогенные движения...» [14].

На Приполярном, Полярном, Северном Урале и ТПП в интервале от верхнего рифея до кембрия присутствуют магматиты разного типа. Внутриплитно-рифтогенные риолит-базальтовые ассоциации (атертумпская толща, пожемский комплекс и др.), а также им соответствующие осадочные комплексы, имеют возраст 560–500 млн лет [15, 19, 20]. Фиксируются граниты с надсубдукционной геохимией и возрастом 700–560 млн лет, островодужный тип — в интервале 564–558 млн лет (Печорская, Большеземельская зоны). Граниты с датировками 560–544 (до 515) млн лет [1, 2, 14, 15 и др.] по геохимии отвечают коллизионным образованиям. Граниты А-типа с возрастом 565–500 млн лет маркируют фазы локального раздвига континентальной коры, которые могли быть связаны с отрывом слэба. Отношения  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в гранитоидах Полярного и Приполярного Урала достаточно высоки — не ниже 0,708 [34, 37]. В гранитоидах фундамента ПП возраст древних ядер цирконов варьирует от ~0,9 до ~2,7 млрд лет [35].

На Северном Урале, в *Ишеримском блоке* по геохимическим особенностям и возрасту гранитов предполагается: интервал 566–530 млн лет — существование энсиалической островной дуги (или активной окраины континента), около 511 млн лет — коллизионного орогена [19].

В *Кваркушко-Каменногорском антиклинории* на основе закономерного изменения состава и возраста основных пород предполагается существование мантийного плюма, инициирующего рифтогенез, в диапазоне 680–550 млн. лет, а также выделяются ареалы умеренно-щелочного надсубдукционного магматизма [20].

На *Южном Урале* фиксируются отдельные проявления магматизма от верхов рифея до кембрия. В *БМА* это породы плагиогранитоидной серии (секущие метавулканиты машакской свиты и граниты Губенского массива), для которых определен К-Аг (по амфиболу) возраст около 660 млн лет [26, 30]. В Ю-В части БМА для гранито-гнейсов юрминского комплекса (среди пород таганайской свиты, в границах Златоустовского комплекса) определен U-Pb возраст 540–510 млн лет;  $\epsilon\text{Nd}$ , рассчитанный на этот возраст, составляет около  $-2$ , модельный Nd-возраст — 2150 млн лет,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.706642\text{--}0.718955$  (предварительные данные авторов). Возраст наиболее древних цирконов из гранито-гнейсов юрминского комплекса — 1340–1386 млн лет, то есть они унаследованы от субстрата, связанного с машакским событием.

В соседней граничной структуре — *Уфалейском блоке*, гранитоиды породы битимского комплекса (Никольский массив) имеют венд-кембрийский возраст (Аг-Аг, Rb-Sr) около 579–533 млн лет при  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0.703389$ . Гранитоидные образования УБ и БМА имеют петрогеохимические характеристики, промежуточные между внутриплитными рифтогенными и орогенными сериями [29, 30].

В самых южных частях зоны сочленения Урала с ВЕП (*Уралтау, Эбетинская антиформа*) наряду с рифтогенными осадочно-вулканогенными формациями, описаны граниты с возрастом 577, 543 млн лет и «надсубдукционной» геохимией, которые связываются [25] с существованием вендской конвергентной окраины.

В восточном борту *Зилаирского синклинория* Артлышский (Новоусмановский) гранитный массив имеет U-Pb возраст 547 млн лет и геохимические параметры, сближающие его с надсубдукционными образованиями [11]. Среди цирконов из артлышских гранитов есть зерна с возрастом 1381 млн лет, заимствованные из субстрата — пород Ахмеровского массива или машакских вулканитов.

Кроме того, тиманская тектоно-термальность фиксируется возрастом метаморфических пород Белорецкого купола (природа которого связывается с орогенезом или рифтогенным воздыманием), датировками преобразованных зерен цирконов из вулканитов аршинской серии и древних метаморфитов УБ, наличием галек гранитов к кук-караукской свите [36].

### Обсуждение и выводы

Зона сочленения Урала с ВЕП имеет большую протяженность, длительную и сложную геологическую историю, развивалась асинхронно во времени и в пространстве.

Не вызывает сомнений, что все описываемые структуры западного склона Урала и ТПП имеют в фундаменте вещество древней континентальной коры. В среднерифейских магматитах возраст цирконов, заимствованных из субстрата, лежит в интервале 2700(3000)–1900 млн лет, то есть сопоставим с датировками пород Тараташского блока — части фундамента ВЕП. То есть описываемые структуры (см. рис. 1) реально являются «протоуралидами». В субстрате венд-кембрийских образований часто фиксируется вклад материала, заимствованного из магматитов предыдущих этапов: имеются цирконы, унаследованные из пород «айского» (около 1600 млн лет) и «машакского» (около 1380 млн лет) событий — свидетелей импульсов внутриплитного рифтогенеза.

В генерации среднерифейских изверженных пород участвовали разные по составу магматические источники (рис. 2). Наиболее низкие значения  $\epsilon\text{Nd}$  отмечаются для базитовых даек (в александровско-ахтенском комплексе БМА, около  $-2$ ) [27], гранитов-рапакиви Бердяушского массива ( $-5\text{--}7$ ). В Кувашско-Машакской рифтовой структуре негативными значениями  $\epsilon\text{Nd}$  характеризуются габбро-нориты Копанского ( $-2.4$ ) и граниты Рябиновского и Губенского массивов ( $-2$ ); при  $I_{\text{Sr}} > 0.7050$ . Вероятно, исходный мантийный источник был метасоматически обогащен коровой компонентой. Базальты машакской свиты относятся к производным слегка обогащенных мантийных магм ( $\epsilon\text{Nd} +0.6\text{--}+0.8$ ). Еще выше  $\epsilon\text{Nd}$  в сиенитоидах и трахибазальтах Сибирки ( $+2\text{--}+5$ ) и в габброидах Бердяушского массива (около  $+3$ ).

Участие в среднерифейском рифтовом магматизме БМА источников, одни из которых связаны с обогащенной мантией, другие с существенно деплетированной, а третьи — с веществом древней коры, может свидетельствовать о проникновении мантийного плюма в нижнюю часть континентальной литосферы, с частичным плавлением и контаминацией корового субстрата. Особенности геохимии (рис. 3) и изотопного состава Nd и Sr допускают участие в генезисе среднерифейских магматитов БМА высокотитанистого плюмового компонента типа OIB. В понимании В.Н. Пучкова [21, 33], Р. Эрнста [31] и Ю.Л. Ронкина и др. [23], среднерифейские магматиты БМА образуют типичную крупную изверженную провинцию (LIP). Породы со сходным возрастом, геохимическими и изотопными параметрами наблюдаются и в других регионах мира — Китае, Африке, Ю. Америке [31, 33], то есть ореол действия плюма в среднем рифее был весьма значительным. В разных частях УБ также имеются метабазалты, одни из которых близки по составу к MORB, другие — к OIB (см. рис. 3).

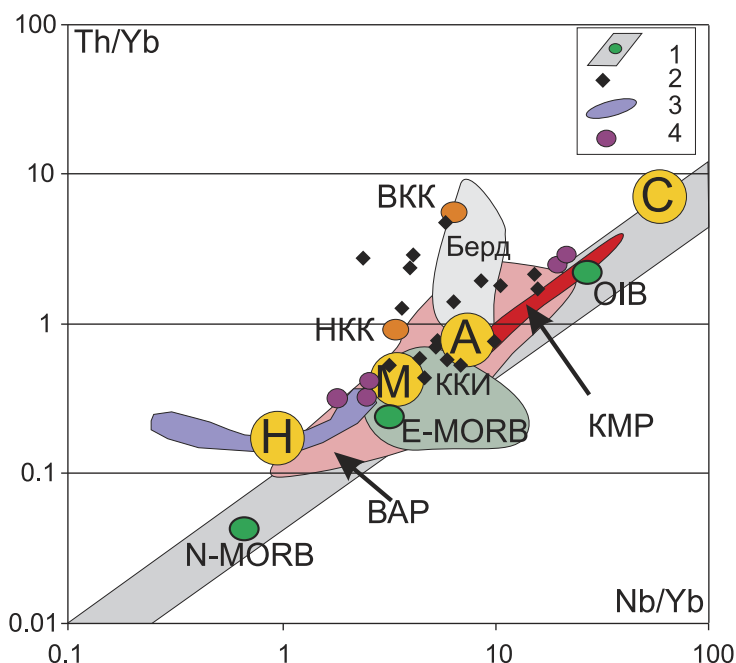
В ТПР и на Северном Урале отсутствует значительная часть рифейского разреза. Для описываемых секторов наиболее разработанной является модель эволюции, предлагаемая Н.Б. Кузнецовым [14, 15 и др.], согласно которой протоуралиты-тиманиды сформировались при коллизии Балтики и Арктиды (540–510 млн лет), между которыми сначала существовал Тиманско-Протоуральский океан. В нем субдукция океанической коры шла по Припечоро-Ильч-Чикшинской зоне разломов. Тиманская окраина Балтики была пассивной, Большеземельская окраина Арктиды — активной. Затем в результате каледонских (эпикаледонский композитный континент Арк-Лавруссия — объединение Балтики и Арктиды) и герцинских процессов произошло сближение его, Сибирского, Казахстанского континентов и других частей, составивших впоследствии суперконтинент Пангея. Существуют и другие представления о развитии структур, сформировавших современную зону аккреции между Уралом и ВЕП, подробный их обзор дан в работе [15]. Не вполне ясными остаются пространственные и временные рамки существования собственно Уральского океана и взаимоотношения с ранее существовавшим бассейном — наследование или дискретность развития.

В ТПР возраст базальных отложений верхнего докембрия лежит на границе среднего и позднего рифея. Это позволяет предположить, что «наиболее вероятным временем заложения Тиманской пассивной континентальной окраины является поздний рифей» [1, 2]. Граниты с возрастом 727 млн лет в ТПР фиксируют развитие субдукционного процесса, то есть начало сокращения океана. Данные по изотопии Sr и Nd для магматитов ТПР этого возрастного этапа практически отсутствуют.

В гренвильское время (1200–1000 млн лет) на границе Урала с ВЕП магматизм проявлен слабо. В ТПР зафиксированы граниты с возрастом 1056 млн лет [1]. В Ишеримском мегантиклинории, эволюция которого могла быть связана с тиманидами [14, 19, 20], присутствуют базиты океанического типа (1079 млн лет).

**Рис. 3. Диаграмма Nb/Yb – Th/Yb (по [38]) для рифейских магматических пород БМА и УБ**

1 — мантийная последовательность и точки средних составов источников: мантийных (N-MORB, E-MORB, OIB) и коровых (ВКК и НКК — верхняя и нижняя континентальная кора). КМР — Красноморский рифт; ВАР — Восточно-Африканский рифт. Магматические породы БМА: 2 — дайковые комплексы; средние составы базальтоидов (буквы в кружках): А — айской свиты; М — машакской свиты; С — месторождения «Сибирка»; 3 — поле и Н — средние составы метабазалтов Назямских гор; ККИ — габбро-нориты Кусинско-Копанской интрузии; Берд — габбро Бердяшского плутона. 4 — амфиболиты (метабазалты) УБ.



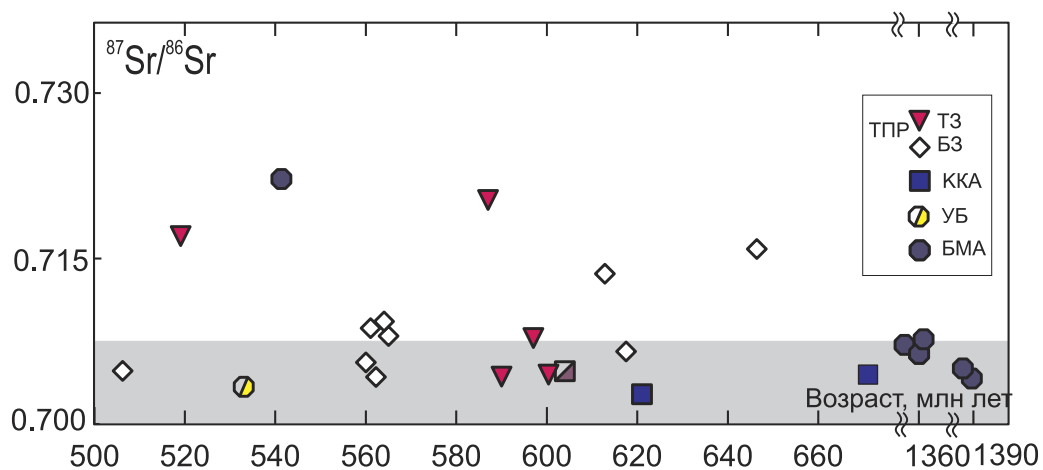
Следы деятельности, указывающие на активную тектонику и флюидную миграцию, наблюдаются широко, проявляются в образовании метасоматических месторождений и фиксируются в каймах преобразованных цирконов из пород многих изверженных комплексов.

На Ю. Урале в интервале 1200–1150 млн лет существовал Назямский грабен-рифт, где состав метавулканитов близок к N-MORB,  $\epsilon Nd$  около +5, что указывает на участие в субстрате вещества деплетированной мантии. Вероятно, здесь имел место разрыв сплошности литосферы; субокеаническая структуры имела короткое время жизни и впоследствии заполнилась осадками.

В целом можно сказать, что в интервале 1200–750 млн лет на всем западном склоне Урала и в ТПР имел место почти амагматичный период. В это время на Ю. Урале накапливались мощные морские осадочные толщи, причем, по мнению А.В. Маслова [32], режим интракратонного бассейна сменился перикратонным, то есть «океаническое» пространство увеличивалось. Вероятно, этот «спокойный» период отвечает этапу наиболее активного раскрытия палеоокеана [27]. Магматизм мог быть сосредоточен преимущественно в структурах СОХ, следы его в результате процессов последующей субдукции океанической коры на Урале сохранились слабо.

Спокойный период в краевой, напрямую не связанной с ТПР, части ВЕП завершается вендским магматизмом Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория, формированием гранитоидов Барангуловского и Мазаринского массивов, аршинских базальтов БМА в интервале 725–705 млн лет [10 и др.].

В венде в ТПР и северной части Урала (Ишерим) некоторое время продолжалась субдукция, существовали островные дуги, имело место внедрение многочисленных гранитных интрузий с геохимическими параметрами надсубдукционных образований (активная окраина Андского типа?). На рубеже венда и кембрия произошла коллизия, вероятный отрыв слэба вызвал коллапс орогена, гранитоидный магматизм продолжался. В субстрате для выплавления гранитов этого региона присутствовал материал древней континентальной коры (возраста ядер цирконов 2700–1900 млн лет), высокие отношения изотопов Sr указывают на малую долю мантийного компонента в источнике (рис. 4) или сильную контаминацию.



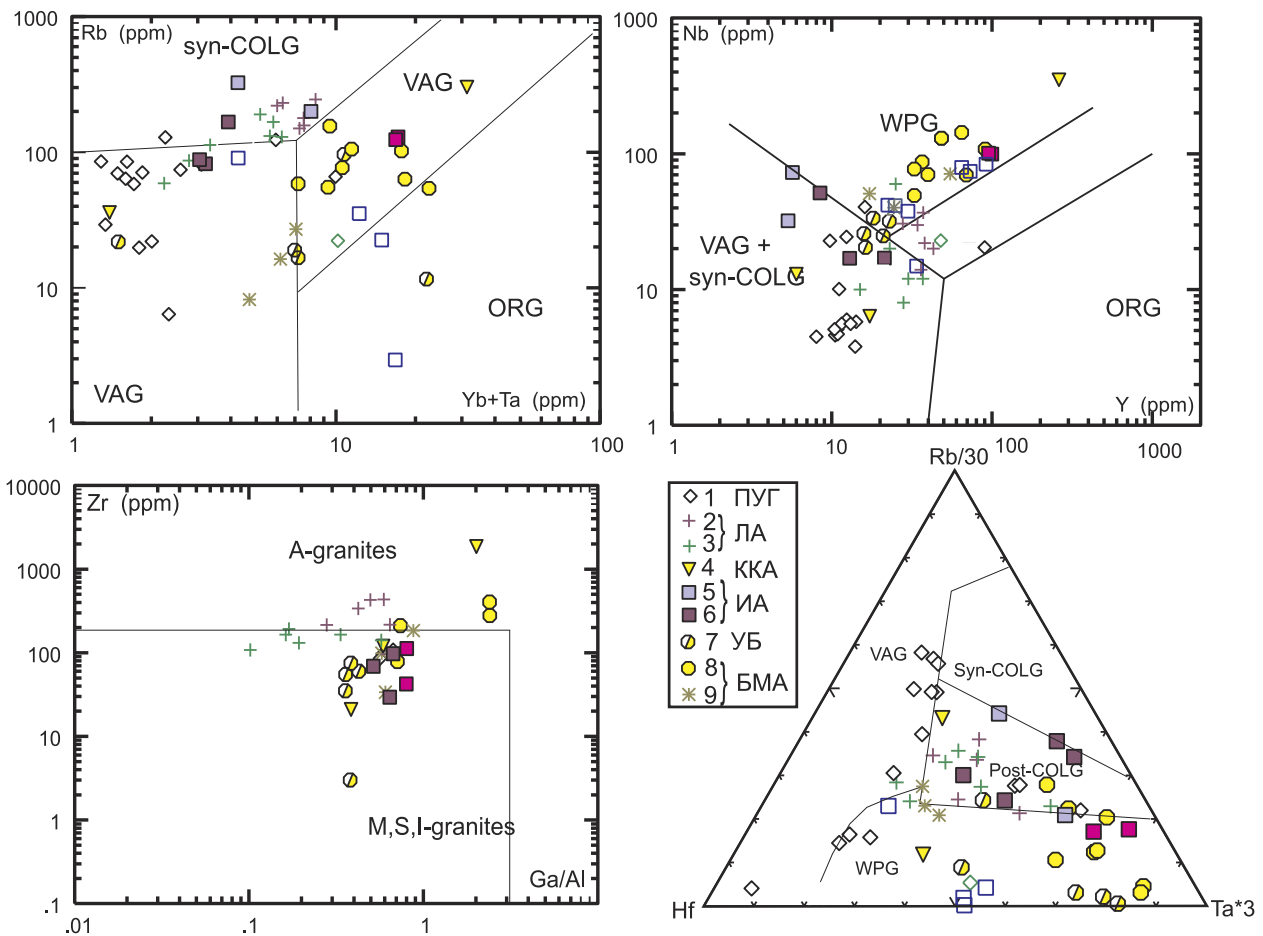
**Рис. 4.** Диаграмма  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  — возраст для магматических пород западного склона Урала и его С-З обрамления ТПР — Тимано-Печорский район: ТЗ — Тиманская зона, БЗ — Большеземельская зона. Остальные аббревиатуры см. в пояснении к рис. 1. Фигуративные точки пород — по данным авторов и анализам из работ [1, 5, 14, 15, 17, 20, 26, 29, 34 и др.].

На Южном Урале в венде — кембрии имел место активный метаморфизм (Белорецкий купол, УБ и др.) и отдельные магматические проявления. Можно сказать, что и здесь в результате аккреционно-коллизионных процессов пассивная окраина ВЕП превратилась в активную континентальную окраину (АКО). Природа этой активности была различной, о чем свидетельствует анализ петрогеохимических особенностей и изотопных данных. Если в ТПР гранитоиды возможно более

четко «привязать» к геодинамическим режимам, то в БМА и УБ они имеют характеристики, промежуточные между рифтогенными и орогенными образованиями, а также разные изотопные параметры (рис. 4, 5). На крайнем юге (Уралтау, Эбета) наряду с рифтогенными вулканитами, входящими в состав вулканогенно-осадочных комплексов, присутствуют породы надсубдукционного типа (лушниковский комплекс), свидетельствующие об островодужных условиях генерации.

Таким образом, протяженная и сложнопостроенная граница Урала с ВЕП в интервале от верхнего рифея до начала кембрия развивалась асинхронно во времени и в пространстве. Явные следы субдукции и последующего орогенеза зафиксированы в северных секторах — в пределах ТПР, Полярного, Приполярного и части Северного Урала (до Ишеримского антиклинория), а также самых южных частях данной зоны — Уралтау, Эбетинской антиформе. По нашему мнению, участки древнего океана закрывались (венд) в тех секторах, к востоку от которых существовали крупные микроконтинентальные блоки, впоследствии причленяющиеся к окраине континента. На остальных участках (Средний и часть Южного Урала) последняя оставалась окраиной Андского типа, без островных дуг и без причленения удаленных террейнов, с открытым на восток океаническим пространством.

Развитие АКО шло гетерогенно: на одних участках доминировал внутриплитный рифтогенез, иногда доходящий до разрыва сплошности коры (Назымский грабен); на других — краевые ослабленные части ВЕП с ранее существующими рифтовыми трещинами вовлекались уже в трансформно-коллизийные движения, вплоть до разрыва сплошности коры. В связи с последними возникли структуры типа slab-window или pull-apart, при образовании которых породы приобретают



**Рис. 5. Геотектонические диаграммы [39 и др.] для венд-кембрийских магматических пород западного склона Урала и его С-З обрамления**

Аббревиатуры см. в пояснении к рис. 1, 4. Фигуративные точки пород — по данным авторов и анализам из работ [1, 5, 14, 15, 17, 20, 26, 29, 34 и др.].



«мантийные» изотопные метки и на петрогеохимических диаграммах часто лежат на границе внутриплитных и надсубдукционных серий (Никольский массив, плагиогранитная серия в Кусе) (рис. 3–5). Все это указывает на быструю смену режимов и различную степень мантийно-корового взаимодействия при формировании магматических серий в венде – кембрии.

Впоследствии в секторах, ранее испытавших коллизию, имело место повторное раскрытие океанического бассейна, а там, где микроконтинентов не было, океан далее расширялся. Именно говоря про такое унаследованное океаническое пространство в интервале рифей – кембрий, авторы употребляют термины «рифейский океан», «ранние стадии развития океана». Развитие же собственно уралид, раскрытие Уральского палеоокеана, как известно, произошло в ордовике [21 и мн. др.].

*Работа выполнена в рамках темы № 0393-2016-0020 государственного задания ИГГ УрО РАН.*

### Литература:

1. *Андреичев В.Л., Соболева А.А., Довжикова Е.Г.* Первые U-Pb-данные о возрасте гранитоидного магматизма фундамента Печорской синеклизы // Доклады РАН. – 2014. – Т. 458, № 5. – С. 559–566.
2. *Андреичев В.Л., Соболева А.А., Герелс Дж.* U-Pb возраст и источники сноса обломочных цирконов из верхнедокембрийских отложений Северного Тимана // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2014. – Т. 22, № 2. – С. 32–45.
3. *Гаррис М.А.* Этапы магматизма и метаморфизма в доюрской истории Урала и Приуралья. – М.: Наука, 1977. – 295 с.
4. *Коротеев В.А., Огородников В.Н., Ронкин Ю.Л., Сазонов В.Н., Поленов Ю.А.* Полигенность и полихронность пегматитов гнейсово-амфиболитовых комплексов как результат прерывисто-непрерывного развития шовных зон // Доклады РАН. – 2009. – Т. 429, № 4 – С. 513–518.
5. *Краснобаев А.А., Ферштатер Г.Б., Степанов А.И.* Петрология и Rb-Sr геохронология Бердяшского массива рапакиви // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1981. – № 1. – С. 21–37.
6. *Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Родионов Н.В., Нехорошева А.Г., Кисеева К.Н.* Ахмеровский гранитный массив – представитель мезопротерозойского интрузивного магматизма на Южном Урале // Доклады РАН. – 2008 – Т. 418, № 2. – С. 241–246.
7. *Краснобаев А.А., Русин А.И., Бушарина С.В., Чередниченко Н.В., Давыдов В.А.* Состав, цирконы и цирконовая геохронология метаморфитов уфалейского комплекса // Ежегодник–2009 / ИГГ УрО РАН. – Екатеринбург, 2010. – С. 273–279.
8. *Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В.* Новые данные по цирконовой геохронологии аршинских вулканитов (Южный Урал) // Литосфера. – 2012. – № 4. – С. 127–13.
9. *Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В., Лепихина Е.Н.* Цирконология навьшских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале // Доклады РАН. – 2013 – Т. 448, № 4. – С. 1–6.
10. *Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В.* U-Pb (SHRIMP)-возраст цирконов гранитов и субстрата Мазаринского массива (Южный Урал) // Доклады РАН. – 2015 – Т. 463, № 2. – С. 206–212.
11. *Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В.* Цирконы и цирконовая геохронология гранитов Новоусмановского (Артлышского) массива (Южный Урал) // Геологический сборник № 10 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа: ДизайнПресс, 2013. – С. 24–35.
12. *Крупенин М.Т.* Минерагеническое и геодинамическое значение среднерифейского времени на западном склоне Южного Урала // Доклады РАН. – 2004. – Т. 399, № 4. – С. 503–505.
13. *Крупенин М.Т., Кузнецов А.Б., Константинова Г.В.* Sr-Nd систематика и распределение РЗЭ в типовых магнетитовых месторождениях нижнего рифея Южно-Уральской провинции // Литосфера. – 2016. – № 5. – С. 58–80.
14. *Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоротина О.В., Герцева М.В.* Доордовикские гранитоиды Тимано-Уральского региона и эволюция протоуралид-тиманид. – Сыктывкар: Геопринт, 2005. – 100 с.
15. *Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоротина О.В., Герцева М.В., Андреичев В.Л., Дорохов Н.С.* Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Ч. 1: Протоуралиды, тиманиды и доордовикские гранитоидные вулcano-плутонические ассоциации севера Урала и Тимано-Печорского региона // Литосфера. – 2006. – № 4. – С. 3–22.
16. *Кузнецов Н.Б., Натанов Л.М., Белоусова Е.А., Гриффин У.Л., О'Рейлли С., Куликова К.В., Соболева А.А., Удоротина О.В.* Первые результаты U/Pb датирования и изотопно-геохимического изучения детритных цирконов из позднедокембрийских песчаников Южного Тимана (увал Джежим-Парма) // Доклады РАН. – 2010. – Т. 435, № 6. – С. 798–805.
17. *Носова А.А., Горожанин В.М., Ларионова Ю.О., Дубинина Е.О.* Изотопные (Sm-Nd, Rb-Sr, O) особенности позднедокембрийских долеритов и пикритов западного Урала: пример двух контрастных изотопно-гео-

- химических типов внутриплитного магматизма // Изотопные системы и время геологических процессов: Матер. 4-й Рос. конф. по изотопной геохронологии. – СПб, 2009 – Т. 2. – С. 63–65.
18. *Нечехин В.М., Краснобаев А.А., Соколов В.Б.* Геохронология и структурное положение нижнего докембрия в Уральском аккреционно-складчатом обрамлении Русской плиты // Общие вопросы расчленения докембрия. – Апатиты: КНЦ РАН, 2000. – С. 201–203.
  19. *Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Тристан Н.И., Гердес А., Маслов А.В.* Новые данные о составе и возрасте гранитов Ишеримского антиклинория и положение границы тиманид на Северном Урале // Доклады РАН. – 2014. – Т. 459, № 6. – С. 721–725.
  20. *Петров Г.А.* Геология допалеозойских комплексов средней части Уральского подвижного пояса: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. – Екатеринбург, 2016. – 41 с.
  21. *Пучков В.Н.* Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
  22. *Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Попова О.Ю.* Основные геохимические характеристики гранитов-рапакиви и ассоциирующих пород Бердяшского плутона (тектономагматическая позиция и типология) // Ежегодник–2004 / ИГГ УрО РАН. – Екатеринбург, 2005. – С. 211–219.
  23. *Ронкин Ю.Л., Маслов А.В., Матуков Д.И., Лепихина О.П., Порова О.Ю., Лепихина Г.А.* Бердяшский массив:  $1350 \pm 10$  млн лет или древнее? // Ежегодник–2005 / ИГГ УрО РАН. – Екатеринбург, 2006. – С. 310–314.
  24. *Ронкин Ю.Л., Тихомирова М., Маслов А.В.* 1380 млн лет LIP Южного Урала: прецизионные U–Pb ID-TIMS\_ограничения // Доклады РАН. – 2016. – Т. 468, № 6. – С. 173–177.
  25. *Самыгин С.Г., Белова А.А., Рязанцев А.В., Федотова А.А.* Фрагменты вендской конвергентной окраины на Южном Урале // Доклады РАН, 2010. – Т. 432, № 5. – С. 644–649.
  26. *Холоднов В.В., Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С., Шардакова Г.Ю., Прибавкин С.В., Шагалов Е.С., Бочарникова Т.Д.* Гранитоидный магматизм зоны сочленения Урала и Восточно-Европейской платформы (Южный Урал) // Литосфера. – 2006. – № 3. – С. 3–27.
  27. *Холоднов В.В., Ферштатер Г.Б., Шагалов Е.С., Шардакова Г.Ю.* Рифейский магматизм и рудообразование, предшествующие раскрытию Уральского палеоокеана (западный склон Южного Урала) // Литосфера. – 2017. – № 2. – С. 5–27.
  28. *Шагалов Е.С., Холоднов В.В., Носова А.А., Солошенко Н.Г., Стрелецкая М.В., Киселева Д.В., Горожанин В.М.* К вопросу о возрасте вмещающих пород редкометалльного месторождения Сибирка: Sm–Nd- и U–Pb (циркон)-изотопные данные // Ежегодник–2013. – Екатеринбург, 2014. – С. 362–366. – (Тр. ИГГ УрО РАН; Вып. 161).
  29. *Шардакова Г.Ю.* Новые данные о Rb–Sr возрасте гранитов Никольского массива (Уфалейский блок) // Литосфера. – 2015. – № 4. – С. 93–98.
  30. *Шардакова Г.Ю.* Геохимические особенности и изотопный возраст гранитоидов Башкирского мегантиклинория – свидетельства импульсов эндогенной активности в зоне сочленения Уральского орогена с Восточно-Европейской платформой // Геохимия. – 2016. – № 7. – С. 607–622.
  31. *Ernst R.E.* Large Igneous Provinces. – Cambridge Univ. Press., 2014. – 683 p.
  32. *Maslov A.V., Erdtmann B.D., Ivanov K.S., Krupenin M.T.* The main tectonic events, depositional history and the palaeogeography of the Southern Urals during the Riphean-Early Palaeozoic // Tectonophysics. – 1997. – V. 276. – P. 313–335.
  33. *Puchkov V.N.* Relationship between plume and plate tectonics // Geotectonics. – 2016. – V. 50, No 4. – P. 425–438.
  34. *Dovzikova E., Pease V., Remizov D.* Neoproterozoic island arc magmatism beneath the Pechora Basin, NW Russia // GFF. – 2004. – V. 126. – P. 353–362.
  35. *Gee D.G., Beliakova L., Pease V. et al.* New Single Zircon (Pb-Evaporation) Ages from Vendian Intrusions in the Basement beneath the Pechora Basin, Northeastern Baltica // Polarforschung/ – 2000. – H. 68. – S. 161–170.
  36. *Glasmacher U.A., Reynolds P., Alekseev A.A. et al.*  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Thermochronology west of the Main Uralian Fault, southern Urals Russia // Geol.Rdsch. – 1999. – V. 87. – P. 515–525.
  37. *Pease V., Dovzikova E., Beliakova L., Gee D.G.* Late Neoproterozoic granitoid magmatism in the basement of the Pechora Basin, NW Russia: geochemical constrains indicate westward subduction beneath NE Baltica // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica / D.G. Gee, V. Pease (eds.). – Geol. Soc. London. Memoirs, 2007. – V. 30. – P. 75–85.
  38. *Pearce J.A.* Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust // Lithos, 2008. – V. 100. – P. 14–48.
  39. *Whalen J.B., Curre K.L., Chappell B.W.* A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis // Geol. Soc. of America, 1979. – Abstract with Programs. – 539 p.