УДК 551.24 (234.85)

ПЛЮМЫ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ УРАЛА

В.Н. Пучков

Институт геологии Уфимского научного центра РАН, Уфа Башкирский государственный университет, Уфа

Поступила в редакцию 05.02.13

Выявление и изучение плюмовых событий в складчатой области, такой как Урал, затруднено, поскольку маскируется сложным сочетанием эрозии, осадконакопления, метаморфизма и наложенных деформаций. Тем не менее рассмотрение и корреляция долеритового, трахибазальгового и траппового магматизма Урала позволяют предварительно наметить ряд комплексов — «кандидатов» на принадлежность крупным магматическим провинциям, которые могут быть связаны с плюмами и суперплюмами. Это прежде всего вулканиты и интрузии раннего, среднего рифея и раннего палеозоя Центрально-Уральской зоны, девона Западно-Уральской зоны складчатости, триаса Южного Зауралья, Приполярного и Полярного Урала. Их характеризуют определенные геохимические черты, позволяющие отличать от заведомо «плейт-тектонических» проявлений магматизма СОХ и зон субдукции, узкий временной интервал развития и широкий ареал проявления, независимо накладывающийся на разнородные тектонические зоны и блоки. Это только начало большой и сложной работы по выявлению плюмовой компоненты в геологической истории Урала.

Ключевые слова: магматические провинции, геохимия, возраст, плюмы, докембрий, фанерозой, Урал.

Введение

Представления о плюм-тектонике как концепции, не конкурирующей с тектоникой литосферных плит, но дополняющей ее в части описания процессов, зарождающихся в нижней мантии, и их влияния на тектонику и магматизм земной коры, — в последние годы находит все большее число сторонников, хотя и подвергается агрессивной критике (Пучков, 2009). В наибольшей степени плюмовые процессы изучены на платформах и в океанических пространствах; в складчатых, орогенических областях их влияние в определенной степени маскируется сложным сочетанием эрозии, осадконакопления, метаморфизма и наличием наложенных деформаций. Урал в этом смысле не является исключением, и восстановление истории плюмовых процессов в нем — непростая задача.

Магматизм — это основной признак плюмов. При этом важно отличать КМП, или LIPs (крупные магматические провинции), как проявления суперплюмов и отдельные, локальные магматические центры как признак плюмов индивидуальных; последние нередко образуют цепи вулканов с закономерным, последовательным изменением возраста по простиранию. Наоборот, важной особенностью вулканизма суперплюма являются его импульсный характер и практически одновременное возникновение на большой территории.

Помимо обильного магматизма, обычно траппового или более локально развитого субщелочного (рифтового или характерного также для океанических островов), образующего КМП, в качестве признаков плюмов называются следующие (Пучков, 2009 и ссылки в этой работе):

— крупные куполовидные поднятия (впрочем, они проявлены неповсеместно: например, в восточной части Урало-Сибирской провинции излияния не предварялись поднятиями, а в Западной Сибири поднятия и размыв предшествовали излияниям). Иными словами, этот признак — неоднозначен и, возможно, зависит от того, где расположен «центр» суперплюма;

— дайковые комплексы (нередко радиальные, сходящиеся к «центру» плюма) там, где вулканические покровы эродированы;

 — карбонатиты и кимберлиты, ассоциирующие с траппами и дайковыми комплексами;

 — результаты сейсмотомографии, прослеживающей зоны замедления сейсмических волн под плюмами;

 наличие цепочек вулканов с закономерным («time-progressive») изменением возраста продуктов магматической активности;

— пространственная связь предполагаемых плюмов и суперплюмов с глобальными областями разуплотнения в нижней мантии в слое D"— LLVSPs (Large Low Shear Velocity Provinces) размерами до тысячи километров в поперечнике, получившими название суперсвеллов, которые, как предполагается, и являются источниками плюмов;

— геохимические, изотопные метки, в частности повышенное содержание «солнечного» гелия и высокое отношение ³He/⁴He, которые могут свидетельствовать о рождении плюма в мантии на границе с внешним ядром. К настоящему времени показана неоднозначность этих меток (Грачев, 2003). Тем не менее остается такое важное отличие базальтов плюмов от MORB, как более высокое содержание литофильных элементов с крупными ионными радиусами, легких РЗЭ. Они также легко отличимы и от надсубдукционных базальтов, для которых характерна Та—Nb-аномалия и другие признаки. Установлена преимущественная принадлежность предположительно плюмовых базальтов к категории OIB (Ocean Ridge Basalts), обогащенных многими редкими и рассеянными элементами — не только в океанах, но и на континентах;

 еще раз надо подчеркнуть такую важную диагностическую особенность вулканизма суперплюмов, как его практически одновременное возникновение на большой территории.

Нетрудно заметить, что из перечисленных признаков лишь часть может быть использована для достижения целей, поставленных в данной работе. Большинство признаков либо являются неоднозначными, либо хороши для современных или сравнительно молодых (кайнозойских и мезозойских) плит. Когда нам приходится делать попытку (как в данном случае) выявить или хотя бы предварительно наметить возможные проявления плюмов в палеозойской складчатой области, каковой является Урал, арсенал применимых методов сильно обедняется. Мы не можем говорить о сейсмотомографии и о корреляции вулканизма с современными суперсвеллами или столбами низкоскоростного мантийного вещества. Трапповые покровы в большинстве случаев эродированы и остаются в лучшем случае их фрагменты. Простирания дайковых долеритовых комплексов частично искажены складчатостью; связанные с ними силлы нередко нарушены разломами и образуют картируемые складки. Выявление цепочек вулканов с закономерным изменением возраста продуктов магматической активности (time progressive volcanic chains) требует гораздо большего количества прецизионных определений абсолютного возраста, чем это возможно предъявить в настоящее время. К тому же такие цепочки наилучшим образом выявляются в океанических плитах, но на Урале эти плиты субдуцированы.

Что же остается? Остается датирование и корреляция сохранившихся фрагментов магматических комплексов, когда-то обширных, между собой и с более сохранными комплексами на соседних, а иногда и далеко расположенных в настоящее время платформах с целью выявления их принадлежности к конкретной $KM\Pi$ — в составе суперконтинентов, в которых они когда-то были. Такие реконструкции содержат много предположительного, но это единственный путь, и по мере накопления материала высказанные предположения либо становятся все более уверенными, либо бывают отброшены. Особенно интересно выделение и датирование дайковых роев, которые в ряде случаев являются почти единственными свидетелями плюмовых импульсов, представляя собой сохранившиеся от эрозии корни — «фидеры» исчезнувших трапповых покровов и вулканитов других типов. Хорошим примером анализа дайковых роев как само-

стоятельных объектов с целью прояснения вопросов истории тектономагматических процессов в большом регионе служит «Карта диабазовых дайковых роев и связанных с ними комплексов Канады и смежных регионов» (Buchan, Ernst, 2004). Составление подобной карты для России в настоящее время еще продолжается. Частью этой работы является публикация В.Н. Пучкова (2012), в которой впервые прослежены и классифицированы дайковые комплексы Урала. В данной статье мы обращаем основное внимание на дополнительное обоснование выделения и прослеживания магматических комплексов определенных возрастных уровней и их корреляцию с аналогичными комплексами других регионов. В связи с ограниченностью объема статьи петролого-геохимические особенности комплексов хотя и учитываются, но остаются за пределами обсуждения.

Опорным регионом для классификации и корреляции позднепротерозойских и ранне-среднепалеозойских вулканитов Урала — «кандидатов» в плюмы является Башкирский мегантиклинорий (рис. 1).

Вулканизм раннего рифея (айская свита)

Определение возраста навышской подсвиты айской свиты имеет критическое значение для уточнения нижнего возрастного рубежа рифея, поскольку подошва рифея находится в 200 м ниже по разрезу от вулканитов и проводится в основании полимиктовых конгломератов айской свиты, перекрывающей с угловым несогласием тараташский кристаллический комплекс раннего протерозоя.

По данным предыдущих исследований, полученным в результате комплексного применения К—Ar-, Rb—Srи U—Pb-методов, возраст вулканитов навышского комплекса был установлен на уровне 1615±45 млн лет (Стратиграфические..., 1993). С развитием современных методов изотопных исследований удалось уточнить эту датировку.

В 2011 г., после долгого периода неудач, в пробе навышских вулканитов (пр. 2152, трахибазальтовый порфирит, юго-восточнее д. Аршинка, координаты 55°31′41,7″ с.ш., 59°40′48,5″ в.д. (рис. 1, точка Н)) получены цирконы, которые отличались от других по составу, хорошей сохранности и возрасту (Краснобаев и др., 2013). О высокой сохранности цирконов свидетельствуют близкие, практически конкордантные цифры возраста, полученные по различным изотопным отношениям для большинства кристаллов, и тесное («кластерное») расположение их аналитических данных вблизи конкордии. Полученное для них значение возраста 1752±11 млн лет максимально близко отвечает возрасту вулканитов.

Этот возрастной рубеж является индикаторным не только для навышских вулканитов, но и для нижней границы всего рифейского разреза Южного Урала. Он не противоречит данным о наиболее молодом возрасте гранитизации в условиях амфиболитового метаморфизма в кристаллическом фундаменте этого региона, равном 1777±79 млн лет (Краснобаев и др.,



2011). Не противоречат этому и данные (Синдерн и др., 2006) о минимальном возрасте гранитов тараташского комплекса примерно в 1800 млн лет. Таким образом, возраст основания рифея не выходит за пределы 1750—1800 млн лет.

Следует отметить, что полученная датировка вулканитов (около 1750 млн лет) вписывается в эпизод магматической деятельности, проявившийся на ряде континентов. Н. Йоуби и др. (Youbi et al., 2012) обрашают внимание на то, что базальты с этим возрастом развиты в Северной Африке. В своем стендовом докладе на Симпозиуме по суперконтинентам они привели также ссылки на публикации, говорящие о присутствии даек этого возраста на Сибирской платформе и в Лаврентии. Эти данные можно существенно дополнить. Помимо нашей датировки айской свиты на Балтике известны и другие проявления базальтоидного вулканизма на уровне 1750—1780 млн лет: дайка Ропручей (Lubnina et al., 2012) и наиболее молодые палеопротерозойские дайки Украинского щита (Водdanova et al., 2012), а также данные (Hou et al., 2008) по Северо-Китайской платформе (возраст дайкового роя в горах Вутай — 1778 млн лет, гранитов рапакиви — 1774 млн лет, бимодальных лав Сионгер — 1776 млн лет). Значит, ареал этого события еще расширяется, и мы можем говорить о проявлении КМП (суперплюма?) на уровне 1750—1780 млн лет (рис. 2). Это событие может служить временным репером при установлении нижней границы рифея и уточнении нижней границы мезопротерозоя. В случае подтверждения

айской датировки основание рифея можно будет коррелировать с основанием мезопротерозоя в трактовке китайских геологов (основание формации Чанчен на уровне 1800 млн лет).

Вулканиты машакской свиты

В течение длительного времени возраст машакской свиты и основания юрматинской серии принимался как 1348±30 млн лет (Стратиграфические..., 1993). Этот рубеж долгое время рассматривался в качестве возраста основания среднего рифея.

Датировки машакской свиты были неоднократно повторены. Первоначально сделанные в 2006—2008 гг. на SHRIMP-II (ВСЕГЕИ) датировки либо совпадали с классической, либо были значительно древнее: от 1436 до 1538 млн лет, что противоречило геологическим данным. Это вынуждало обратиться к альтернативным методам. В 2008 г. по двум образцам цирконов U-Pb-методом CA-ID TIMS в Университете Бойси (США) были получены датировки 1381,1±0,7 млн лет (средневзвешенная ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb-дата) и 1380,2±0,5 млн лет (средневзвешенная ²⁰⁶Pb/²³⁸U-дата) (Пучков и др., 2009). Это уже было близко к полученной нами ранее (U-Pb, бадделеит) в лаборатории Университета Торонто (Канада) прецизионной датировке Главной Бакальской дайки долеритов, рвущей бакальскую свиту: 1385,3±1,4 млн лет (Ernst et al., 2006), и ранее опубликованным датировкам Бердяушского плутона и Куса-Копанской интрузии, которые рассматривались как комагматы ма-

Рис. 2. Магматические комплексы нижнерифейские (1750-1780 млн лет) и среднерифейские (1380-1385 млн лет) на реконструкции континента Нуна (Коламбия), построенной по данным (Evans, Mitchell, 2011; Youbi et al., 2012): 1 — рифтовая зона с машакским возрастом; 2 рифтовая зона с возрастом 1280 млн лет. СА -Северная Америка, С — Сибирия, Б — Балтика, А — Амазония, ЗА —Западная Африка, СК -Северо-Китайская платформа. Нижнерифейские вулканиты (белые кружки): а — навыш, б — Украинский щит, в — дайка Ропручей, г дайки Атласа, д — дайки Северо-Китайской платформы, е — радиально расположенные дайки Сибирской платформы, ж — дайки оз. Макрае, з -дайки Кливер, и - дайки Хэдли Бэй. Среднерифейские вулканиты (черные кружки): 1 — Машак, 2 — дайки в Мензеасене, скв. Актаныш, 3 — Анабар, дайки Чирес, 4 — Тиман, скв. Полью-1, 5 — Гренландия, вулканиты Мидсоммерсо и Зиг-Зал Вал, 6 — дайки Виктория Лэнд, 7 — силла Харт Ривер, 8 — силлы Сэлкон Риверарч (Puchkov et al, 2013)



Рис. 1. Положение датированных магматических пород рифея и раннего палеозоя на геологической схеме Башкирского мегаантиклинория:

Н — навышская подсвита раннего рифея, К — Кирябинская расслоенная интрузия; 1–2 — машакская свита и ее комагматы: 1 — обр.
898, хр. Шатак, 2 — обр. 125, хр. Шатак; 3 — скв. Карагас 3, базальты; 4 — Ахмеровские граниты; 5 — эклогиты Белорецкого комплекса;
6 — обр. 109, гора Дунгансунган; 7 — обр. 323, риолит, р. Кузьелга, хр. Машак; 8 — обр. 906, р. Березяк, Кувашский комплекс; 9 — Главная Бакальская дайка; 10 — Бердяушские граниты рапакиви и ассоциированные с ними породы; 11 — Куса-Копанская базитовая интрузия; 12 — Рябиновские граниты; 13 — Кусинский долеритовый силл. Буквенные обозначения см. в тексте

шакских вулканитов. Год спустя цирконы из четырех образцов риолитов машакской свиты (рис. 1, точки 1, 2, 7, 8) были проанализированы на SHRIMP-II во ВСЕГЕИ под контролем минеролога. Интегральный возраст всех четырех проб составил 1383±3 млн лет (Краснобаев и др., принято к печати). Одновременно две пробы цирконов из риолитов были посланы на SHRIMP в Австралию (одна новая и одна контрольная, рис 1, точки 2 и 6); обе дали практически идентичный результат: 1386±5 и 1386±6 млн лет (Puchkov et al., 2013). При этом австралийская лаборатория также полтверлила наличие отдельных древних кристаллов с датировками 1420—1550 млн лет; они трактуются как унаследованные от субстрата. Поскольку датированные таким образом пробы находятся в 300-400 м выше основания юрматиния, нами предлагается принять возраст основания среднего рифея равным примерно 1400 млн лет.

Нами показано (Puchkov et al., 2013) (рис. 2), что машакское магматическое событие в виде вулканитов, дайковых роев и глубинных интрузий распространилось далеко за пределы Башкирского антиклинория (Восточно-Европейская платформа, Тиман, Гренландия, Сибирский кратон). Как и в случае с рубежом 1750 млн лет, вулканизм на уровне 1380—1385 млн лет может представлять собой магматическое событие субглобального масштаба, что небезынтересно с точки зрения магматической корреляции и совершенствования глобальной стратиграфической шкалы.

Вулканиты аршинской серии

В районе Тирлянской мульды Южного Урала, непосредственно подстилая отложения палеозоя, находится мощная (до 1,5 км) толща терригенных отложений, включающая тиллитовидные конгломераты. В средней части толщи значительное место занимают вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы. Толща с размывом залегает на укской свите верхнего рифея. До недавнего времени эта толща в качестве аршинской свиты относилась к нижнему венду (Стратиграфические..., 1993). Нами эта свита была переведена в ранг серии в составе четырех свит — байнасской, махмутовской, игонинской и шумской (Козлов и др., 2011). Изучение цирконов, выделенных из вулканогенных пород игонинской свиты (обнажения в районе точек б и в на рис. 1), позволило прийти к выводу о полихронности аршинского вулканизма о проявлении двух основных этапов в его эволюции с рубежами 707,0±2,3 и 732,1±1,7 млн лет (Краснобаев и др., 2012).

В целом магматические эпизоды с возрастом 720— 610 млн лет распространены на Балтике (Носова и др., 2008) и в Лаврентии и могут интерпретироваться как плюмовые и рифтовые события, связанные с раскалыванием Родинии. Наиболее поздний эпизод этого раскалывания, когда Балтика окончательно отделилась от Лаврентии и Амазонии, сейчас датируется как 615 млн лет (Богданова и др., 2009). Однако конкретный уровень магматизма, отвечающий игонинской свите, ни на Южном Урале, ни в более северных территориях пока не прослеживается, и вопрос, входят ли эти магматические породы в КМП, остается открытым.

Кирябинская интрузия

Кирябинская расслоенная перидотит-пироксенитгаббровая интрузия, расположенная на северо-востоке Башкирского мегантиклинория в лежачем крыле Главного Уральского разлома (точка К на рис. 1), была датирована как 680±3,4 млн лет (Краснобаев и др., принято к печати). Возрастные аналоги ее на Южном Урале неизвестны. В то же время близкие по возрасту магматические породы известны в Кваркушском антиклинории на Среднем Урале. Это щегровитский комплекс трахибазальтов — 672±22 млн лет, журавликский верлит-габбро-гранодиоритовый — 671±7,5 млн лет, Троицкий гранитоидный — 671±24 млн лет (Петров и др., 2005). Учитывая довольно большие расстояния между комплексами и невозможность определить истинный ареал их распространения, допустима возможность, что это фрагменты КМП.

Ордовикско-силурийский дайковый комплекс

До недавнего времени магматические породы Башкирского мегантиклинория относились почти исключительно к докембрию, что в последнее время подтверждается многочисленными изотопными датировками, хотя в проанализированных пробах отдельные зерна цирконов имели статистически пренебрежимые палеозойские датировки. Лишь некоторые дайки свежих долеритов в Инзерской синклинали А.А. Алексеевым относились к палеозою на основании К—Аг-датировок, не вызывавших большого доверия.

Сейчас ситуация изменилась. В последнее время у нас появилось достаточное количество надежных палеозойских датировок из магматических пород, которые и нами, и предыдущими исследователями считались докембрийскими и относились к одному из трех стандартных уровней рифея или к венду. В этих и подобных им пробах получены лишь единичные докембрийские определения, обычно не образующие кластеры. Среди обсуждаемых палеозойских датировок, образующих статистически значимые кластеры, особое внимание привлекает узкий раннепалеозойский уровень.

Статистически обработанные конкордантные датировки цирконов в магматических породах, залегающих в айской свите, дали уровни (Пучков и др., 2011): 441,8±8,2 и 437±11 млн лет (рис. 1, точка а); в поле аршинской серии на р. Арше, на широте горы Игонин Камень — 454,5±5,8 млн лет (рис. 1, точка б), к северу от пос. Тирлян, на руч. Половинный — 437±7,2 млн лет (рис. 1, точка в); среди машакской свиты: на р. Кузьелга — 434,8±6,7 млн лет (рис. 1, точка г), на хр. Бол. Шатак — 447±3,6 млн лет (рис. 1, точка д). Все датировки укладываются в узкий интервал 435—455 млн лет (конец ордовика — лландовери, т.е. вблизи границы ордовика и силура). Четкого возрастного тренда в своем размещении они не образуют.

Приведенные данные позволяют предполагать, что в пределах полей развития древних вулканитов имеются нераспознанные (вследствие плохой обнаженности) дайки и силлы более молодых пород, отвечающих примерно границе ордовика и силура. Вулканизм этого уровня проявился и на западном склоне Среднего Урала в качестве верхнесеребрянского комплекса. Сиенит-порфиры верхнесеребрянского комплекса по цирконам методом SHRIMP были датированы в лаборатории ВСЕГЕИ как 447±8 млн лет (Петров, 2006). Близкий возраст (449,8±7,3 млн лет) был получен U-Pb-методом по цирконам из дайки лестиваритов (сиенитов), прорывающей Уфалейский дунит-гарцбургитовый массив в зоне Главного Уральского разлома на Южном Урале, надвинутый на комплексы континентальной окраины (Петров и др., 2010).

Из событий, ранее известных на западном склоне Южного Урала, лишь одно близко к ордовикско-силурийскому интрузивному этапу по возрасту и территориально, а возможно, и генетически: это возникновение большей части Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса (410—446 млн лет), испытавшего затем преобразования на рубежах позднего девона и перми (Недосекова, Белоусова, 2009; Чернышов и др., 1987).

Нами (Пучков, 2010) высказано предположение о сходстве Ильмено-Вишневогорского карбонатитового комплекса с Монтерегийской группой субщелочных и щелочных интрузий, возникновение которой интерпретируется как след плюма на атлантической окраине Северо-Американского континента (там тоже есть карбонатиты). Разница в том, что последующие преобразования Ильмено-Вишневогорский комплекс претерпел на коллизионной стадии, которая на окраине Атлантического океана не проявилась.

Девонский дайковый комплекс

На западном склоне Северного Урала, в пределах шельфовой и батиальной зон, девонский дайково-силловый комплекс, в зависимости от глубины эрозионного среза прорывающий ордовикские, силурийские и девонские (но практически никогда каменноугольные) шельфовые отложения, был первоначально описан в качестве трапповой формации (Голдин и др., 1972), с которой он имеет много общего.

Литературные материалы позволяют проследить предположительно девонские дайки и силлы на западном склоне Урала (вплоть до Южного) и их северное продолжение в Пайхой-Новоземельской складчатой зоне, хотя изотопных определений, подтверждающих эту идею, пока довольно мало (рис. 3). Тем не менее в сочетании с геологическими данными (прорывание дайками палеозойских отложений до верхнего девона включительно) мы можем довольно уверенно гово-

рить о гигантском (протяжением свыше 2000 км) рое даек, прослеживающемся от Башкирского антиклинория до Новой Земли. Доказательства существования этого комплекса приведены нами (Пучков, 2012). К ним мы можем добавить еще некоторые новые сведения, подтверждающие высказанную точку зрения. Во-первых, на Новой Земле пояс выражен не только дайками, но и эффузивами, датированными верхним девоном (Тимофеева, 1998). Во-вторых, на южном фланге роя, в Башкирском и Кваркушском антиклинориях, о присутствии девонских даек среди протерозойских отложений говорят помимо ранее приведенных данных также следующие. Дайка свежих недеформированных долеритов, которая прорывает сланцы басегской серии на севере хр. Кваркуш (гора Скалы). датирована Sm-Nd-изохронным методом как 398±37 млн лет (Beckholmen, Glodny, 2004). Крупная дайка габбро-долеритов в центральной части Кваркушского антиклинория в районе ж.-д. ст. Скальный, рвущая чернокаменскую свиту венда, была опробована нами и датирована U-Pb-методом по бадделеиту как 377±0,9 млн лет (наши данные). Дайка долеритов, рвущая диамиктиты Толпаровского грабена венда, датирована Ar-Ar-методом по амфиболу и плагиоклазу и дала возраст 363-400 млн лет (данные В.М. Горожанина). Эти материалы будут опубликованы в ближайшее время.

Данные по девонским дайкам западного склона Урала прекрасно вписываются в ранее охарактеризованную картину средне-позднедевонских внутриплитных рифтовых и магматических суперплюмовых процессов на Восточно-Европейской платформе (ВЕП), приведших к образованию КМП (Милановский, 1996; Никишин, 2002; Ernst, Bell, 2010; Puchkov, 2002). Как показано автором, западный склон Урала вплоть до девона—карбона представлял собой неотъемлемую часть ВЕП и только в конце палеозоя подвергся складчатости, поэтому и магматические проявления девонского времени в нем являются «замаскированной» частью Восточно-Европейской КМП.

На примере Восточно-Европейской КМП можно видеть, что она органично связана с рифтовыми процессами. Особенно хорошо это видно на примере уникальной линейной зоны: Припятско-Днепровско-Донецкой впадины, Донбасса и Донецко-Туаркырской системы, первично единой структуры. Строение этой линейной системы хорошо изучено серией сейсмических профилей, наиболее известным из которых является DOBREflection (Минц, Конилов, 2010; Stephenson et al., 2006). Первично рифтовый характер системы ни у кого не вызывает сомнений, хотя по направлению к востоку-юго-востоку она испытывает инверсию и превращается в позднепалеозойскую умеренноскладчатую зону. Грабен заполнен палеозойскими отложениями, наиболее древние из которых датированы средним-верхним девоном; одновременно с заложением грабена отмечается интенсивный базальтоидный вулканизм. Мощность коры на флангах рифта составляет около 40 км или несколько более,



а в его оси сокращается на несколько километров; при этом консолидированная кора утонена (преимущественно за счет верхней ее части) до 15—20 км. Аналогичное утонение консолидированной коры наблюдается в Прикаспийской и Восточно-Баренцевской впадинах (Матвеев и др., 2005; Stephenson et al., 2006), и гипотеза об их рифтовом происхождении, связанном с девонским суперплюмом, имеет право на существование.

Мезозойские дайки и ассоциирующие с ними магматические формации

Заключительный этап проявления вулканизма на Урале связан с западным флангом Урало-Сибирского суперплюма, возникшего на рубеже перми и триаса. Сибирский суперплюм детально описан, и его проявление теоретически обосновано (Добрецов, 2005). Нами показано, что траппы Урала и Сибири вполне четко коррелируются по возрастным изотопным определениям (Пучков, 2010 и ссылки в этой работе). По материалам, полученным нами вместе с М. Рейховым и другими в Борисовском карьере на р. Синаре (Средний Урал), риолиты с возрастом приблизительно 250 млн лет (U-Pb, TIMS, цирконы) рвутся долеритами с возрастом 245 млн лет (Ar-Ar по плагиоклазу). Примерно такова же Ar-Ar-датировка потока базальтов туринской серии на берегу р. Синары у окраины с. Борисово (244,9±1,2 млн лет).

Замечательно проявление триасового кислого вулканизма в Першинском карьере в Зауралье, к югу от пос. Далматово. Здесь риолиты выходят на поверхность, образуя крутой контакт прислонения с горизонтально залегающими опоками и песчаниками палеогена. Судя по опубликованной карте масштаба 1: 200 000, составленной с использованием данных разведочного бурения и геофизики, на глубине 40-50 м под кайнозойскими отложениями риолиты окружены траппами туринской серии, и таким образом риолиты образуют захороненный обелиск (экструзию). Учитывая полученную по цирконам ID-TIMS-методом U—Рb-датировку риолитов 250,9±0,2 млн лет (устное сообщение М. Рейхова), мы имеем здесь контрастную базальт-риолитовую формацию, образование которой синхронно с началом проявления суперплюма.

Долеритовые дайки предположительно триасового возраста закартированы (Тевелев, Кошелева, 2002) в Восточно-Уральской зоне к северу от Джабыкского массива, хотя изотопные возрасты для них пока не получены. Эти данные перекликаются с другими материалами (Тевелев и др., 2009). Эти авторы выделили и описали на Южном Урале два пространственно обособленных от траппов комплекса среднетриасовых гранитоидов: кисинетский и малочекинский, а В.С. Попов и др. (2003) — еще и адуйский. Первый из комплексов представлен дайками гранит-порфиров. расположенными к востоку от Джабыкского гранитного массива. А.В. Тевелев (устное сообщение) насчитывает не менее 12 таких даек. Rb-Sr-возраст по валу и полевым шпатам составляет 238±1,8 млн лет. Малочекинский комплекс щелочных гранитоидов представлен монцодиоритами, щелочными сиенитами и щелочными гранитами и щелочными граносиенитами. Rb-Sr-возраст по пяти валовым пробам составляет 237±21 млн лет. Высказано предположение (Тевелев и др., 2009), что, в отличие от закартированных этими авторами раннетриасовых базальтов (в том числе и даек), образовавшихся в условиях растяжения, среднетриасовые гранитоиды образовались в условиях «жесткой косой коллизии». Однако никаких геологических доказательств среднетриасовой коллизии не имеется. Разрезы триаса там, гле они сохранились. достаточно непрерывны и тем более не демонстрируют угловых несогласий. Проявления кислого (корового) вулканизма вполне можно было бы объяснить и без коллизии — привносом тепла, агентом которого служила базальтовая магма.

Однако надо также отметить, что триасовые Rb— Sr-датировки некоторых кислых интрузий Среднего и Южного Урала (по крайней мере, для чекинского и адуйского щелочных комплексов (Тевелев и др., 2009; Фурина, 2010)) вступают в противоречие с U—Pbдатировками цирконов — каменноугольными и пермскими (Ферштатер и др., 2006; Фурина, 2010), и вопрос не может считаться до конца решенным. Нами (Салихов и др., в печати) подготовлена статья, согласно которой дайки гранит-порфиров, секущих Чекинский массив, имеют раннекаменноугольный возраст по результатам и Rb—Sr- и U—Pb-датирования.

На севере Урала, несмотря на широкое развитие пермских и триасовых отложений, долеритовые дайки мезозойского возраста не обнаружены. Однако здесь развиты широкие поля траппов, образовавшихся на ребеже перми и триаса (Ar—Ar-датировка 249,52± ±0,7 млн лет (Reichov et al., 2008). Существование этих полей само по себе подразумевает наличие под ними системы даек — подводящих магматических ка-

Рис. 3. Западно-Уральский девонский дайково-силловый рой. А — Приполярный, Полярный Урал и Пай-Хой. Б — Средний и Северный Урал. В — Южный Урал. Г — обзорная схема девонского магматизма на Восточно-Европейской платформе (Пучков, 2010):

I—VI — тектонические зоны: I — Предуральский краевой прогиб, II — Западно-Уральская, III — Центрально-Уральская, IV — Тагило-Магнитогорская, V — Восточно-Уральская, VI — Зауральская. Главный Уральский разлом показан жирной линией. Цифры в кружках: 1 — расслоенный габбро-долеритовый силл Сопча-Мыльк, 2 — трахибазальты р. Пага, 3 — долериты хр. Тима-Из, 4 — дайка горы Скалы, 5 — дайка около полустанка Скальный, 6 — девонские базальты аптечногорской свиты, 7 — долеритовая дайка около ст. Инзер, 8 — долеритовая дайка около с. Толпарово, 9 — дайка во франских кремнях к востоку от с. Кага. По В.Н. Пучкову (2012), с дополнениями. 1 — область развития девонских осадочных отложений на Восточно-Европейской платформе; 2 — область океанической коры между островной дугой и континентом, сохранившаяся после девонской коллизии Магнитогорской дуги и континента; 3 — магматические комплексы девонского суперплюма; 4 — Магнитогорская островная дуга; 5 — а — разломы, 6 — западная граница Урало-Сибирского триасового суперплюма

налов. На границе Пай-Хоя и Карской впадины описан Торасовейский сиенитовый массив, прорывающий пермские отложения и датированный М.В. Фишманом и Н.П. Юшкиным как 230±9 и 250±10 млн лет (К—Аг-метод). Таким образом, и эти магматические проявления, возможно, вписываются в историю триасового суперплюма. На самом Пай-Хое имеются данные об исключительно редких случаях прорывания долеритовыми дайками пермских отложений, приводившиеся В.И. Устрицким (район Карской губы) и О.Л. Эйнором (р. Силова). Подтверждением этому служит датировка одного такого тела, расположенного на юго-востоке центральнопайхойского долеритового комплекса (Шайбеков, 2009). Часть цирконов из этого тела располагается на конкордии

Богданова С.В., Писаревский С.А., Ли Ч.Х. Образование и распад Родинии (по результатам МПГК 440) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2009. Т. 17, № 3. С. 29—45.

Голдин Б.А., Давыдов В.П., Мизин В.И. и др. Трапповые формации Северного Урала и Приуралья // Проблемы магматизма западного склона Урала. Тр. ИГГ УНЦ АН СССР. Вып. 95. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1972. С. 130—147.

Грачев А.Ф. Идентификация мантийных плюмов на основе изучения вещественного состава вулканитов и их изотопно-геохимических характеристик // Петрология. 2003. Т. 11, № 6. С. 618—654.

Добрецов Н.Л. Крупнейшие магматические провинции Азии (250 млн. лет); сибирские и эмейшаньские траппы (платобазальты) и ассоциирующие гранитоиды // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 9. С. 870—890.

Каленич А.П., Морозов А.Ф., Орго В.В. и др. Магматизм и тектоника Вайгачско-Новоземельского орогена // Разведка и охрана недр. 2005. № 1. С. 20–25.

Козлов В.И., Пучков В.Н., Краснобаев А.А. и др. Аршиний новый стратон рифея в стратотипических разрезах Южного Урала // Геол. сб. № 9. ИГ УНЦ РАН, Уфа, 2011. С. 3—7.

Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н. и др. Цирконология железистых кварцитов тараташского комплекса на Южном Урале // Докл. АН. 2011. Т. 437, № 6. С. 1—5.

Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н. и др. Новые данные по цирконовой геохронологии аршинских вулканитов (Южный Урал) // Литосфера. 2012. № 4. С. 127—139.

Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н. и др. Цирконология навышских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале // Докл. АН. 2013. Т. 448, № 4. С. 1—6.

Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н. и др. Цирконовая геохронология машакских вулканитов и возраст рубежа нижний—средний рифей (Южный Урал) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2013. Т. 21, № 4.

Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Лепехина Е.Н. Цирконология пироксенитов Кирябинского пироксенитгаббрового комплекса (Южный Урал) // Докл. АН (принято к печати).

Матвеев Ю.И., Верба М.Л., Липилин А.В. и др. Региональные комплексные геолого-геофизические исследования на арктическом шельфе. Основные итоги десятилетних региональных комплексных геофизических исследований на Баренцево-Карском шельфе // Разведка и охрана недр. 2005. № 1. С. 3—6.

Милановский Е.Е. Геология России и Ближнего зарубежья (Северной Евразии). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 448 с.

Минц М.В., Конилов А.Н. Палео-мезо-неоархейский континент Сарматия // Глубинное строение, эволюция и

с $t = 264\pm2,3$ млн лет. Однако имеется также кластер однотипных цирконов со средним конкордантным значением 255,2±2,5 млн лет, что приближается к датировке траппов. Наконец, на Новой Земле выделяется формация мезозойских субщелочных пикродолеритов—долеритов, трахидолеритов, породы которой образуют дайки и реже — субсогласные тела, с Ar—Arвозрастами от 218±1,4 до 240±8 млн лет; определения возраста Sm—Nd-методом более молодые: 190—195 млн лет (Каленич и др., 2005). В связи с этим, а также на основе ранее изложенных данных о девонской КМП разумно предположить, что рядом с Новой Землей, в Баренцевской впадине, развиты силлы не только меловой КМП (Шипилов, 2010), но и более ранних триасовой и позднедевонской.

ЛИТЕРАТУРА

полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы. Сер. аналитических обзоров «Очерки по региональной геологии России». Вып. 4. Т.1. М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2010. С. 344—354.

Недосекова И.Л., Белоусова Е.А. Геохронология и изотопная геохимия Ильмено-Вишневогорского комплекса в свете новых Sm—Nd, Rb—Sr, U—Pb, Lu—Pa изотопных данных (Урал) // Петрогенезис и рудообразование: XIV чтения памяти А.Н. Заварицкого. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. С. 274—277.

Никишин А.М. Тектонические обстановки. Внутриплитные и окраинноплитные процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 365 с.

Носова А.А., Ларионова Ю.О., Веретенникова Н.В., Юткина Е.В. Корреляция неопротерозойского вулканизма Юго-Восточного Беломорья и Западного Урала: новые данные об изотопном возрасте базальтов Солозера (Онежский грабен) // Докл. АН. 2008. Т. 418, № 6. С. 811—816.

Петров Г.А. Геология и минерагения зоны Главного Уральского разлома на Среднем Урале. Екатеринбург: Уральский гос. горный ун-т, 2006. 195 с.

Петров Г.А., Маслов А.В., Ронкин Ю.Л. Допалеозойские магматические комплексы Кваркушско-Каменногорского антиклинория (Средний Урал): новые данные по геохимии и геодинамике // Литосфера. 2005. № 4. С. 42—69.

Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Маслов А.В., Лепихина О.П. Вендский и силурийский этапы офиолитообразования на восточном склоне Среднего Урала // Докл. АН. 2010. Т. 432, № 2. С. 1—7.

Попов В.С., Богатов В.И., Петрова А.Ю., Беляцкий Б.В. Возраст и возможные источники гранитов Мурзинско-Адуйского блока, Средний Урал, Rb—SR- и Sm—Nd-изотопные данные // Литосфера. 2003. № 4. С. 3—18.

Пучков В.Н. «Великая дискуссия» о плюмах: так кто же все-таки прав? // Геотектоника. 2009. № 1. С. 3–22.

Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.

Пучков В.Н. Дайковые рои Урала и ассоциирующие с ними магматические комплексы // Геотектоника. 2012. № 1. С. 42—52.

Пучков В.Н., Козлов В.И., Краснобаев А.А. Палеозойские U-Pb SHRIMP датировки магматических пород Башкирского антиклинория по цирконам // Геологический сборник № 9. ИГ УНЦ РАН. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2011. С. 36—43.

Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Шмити, М. и др. Новые U—Pb-датировки машакской свиты Южного Урала и их сравнительная оценка // Геол. сб. № 8. ИГ УНЦ РАН. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2009. С. 3—14. Салихов Д.Н., Мосейчук В.М., Пучков В.Н. и др. О возрасте умеренно-щелочных гранитоидов Магнитогорской габбро-гранитной интрузивной серии // Литосфера (принято к печати).

Синдерн С., Ронкин Ю.Л., Хетцель Р. и др. Тараташский и Александровский метаморфические комплексы (Южный Урал): Т-t ограничения // Ежегодник—2005. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 2006. С. 322—330.

Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). Межведомственный стратиграфический комитет СССР. Екатеринбург, 1993.1—51 табл., 152 с.

Тевелев Ал.В., Кошелева И.А. Геологическое строение и история развития Южного Урала (Восточно-Уральское поднятие и Зауралье). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 123 с.

Тевелев А.В., Кошелева И.А., Фурина М.А., Беляцкий Б.В. Триасовый магматизм Южного Урала: геохимия, изотопия, геодинамика // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геол. 2009. № 2. С. 29—38.

Тимофеева Т.Н. Девонский мафитовый магматизм Новой Земли: Автореф. канд. дисс. Л., 1998. 17 с.

Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Монтеро П. Гранитоиды // Структура и динамика литосферы Восточной Европы. Вып. 2. Результаты исследований по программе ЕВРО-ПРОБА. М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2006. С. 449—461.

Фурина М.А. Строение и условия формирования массивов триасовых щелочных ранитоидов Малочекинского комплекса (Восточно-Магнитогорская зона, Южный Урал): Автореф. канд. дисс. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010. 24 с.

Чернышов И.В., Кононова В.А., Крамм У., Грауерт Б. Изотопная геохронология щелочных пород Урала в свете данных уран-свинцового метода по цирконам // Геохимия. 1987. № 3. С. 323—338.

Шайбеков Р.И. U—Pb-возраст цирконов из долеритового тела юго-восточной окраины Пай-Хоя // I Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, посвященная памяти академика А.П. Карпинского: Мат-лы докл. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. С. 528—530.

Шипилов Э.В. О тектономагматическом факторе в формировании месторождений-гигантов углеводородов Восточно-Баренцевского бассейна // Докл. АН. 2010. Т. 434, № 4. С. 509—514.

Beckholmen M., Glodny J. Timanian blueschist-facies metamorphism in the Kvarkush metamorphic basement, Northern Urals, Russia // The Neoproteozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Geol. Soc. London. Mem. 2004. N 30. P. 125–134.

Bogdanova S.V., Gintov O.B., Lubnina N.V. 1,80-1,75 Ga mafic dykes in the Ukrainian shield — a key to the paleogeogra-

phy of Baltica within Columbia // Suprecontinent Symposium. Programme and Abstracts. Helsinki, 2012. P. 22–23.

Buchan K.L., Ernst R.E. Diabase dyke swarms and related units in Canada and adjacent regions // Geol. Surv. of Canada Map 2022A, scale 1 : 5 000 000, accompanying 39 page report. 2004.

Ernst R.E., Bell K. Large igneous provinces (LIPs) and carbonatites // Mineral. Petrol. 2010. Vol. 98. P. 55–76.

Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N. et al. Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia // Геол. Сб. № 5. ИГ УНЦ РАН. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. С. 119—161.

Evans D., Mitchell R. Assembly and breakup of the core of Paleoproterozoic–Mesoproterozoic supercontinent Nuna // Geology. 2011. doi.org/10.1130/G31654.1.

Hou G., Santosh M., Lister G.S., Li J. Configuration of the Late Paleoproterozoic supercontinent Columbia: Insights from radiating mafic dyke swarms // Gondwana Res. 2008. Vol. 14, N 3. P. 395–409.

Lubnina N.V., Pisarevsky S.A., Söderlund U. et al. New palaeomagnetic and geochronological data from the Ropruchey sill (Karelia, Russia): implications for Late Palaeoproterozoic palaeogeography // Suprecontinent Symposium. Programme and Abstracts. Helsinki, 2012. P. 81–82.

Puchkov V. Paleozoic evolution of the East European continental margin involved into the Urals // Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present. AGU Geophysical Monograph Series. 2002. Vol. 132.

Puchkov V.N., *Bogdanova S.V.*, *Ernst R. et al.* The ca. 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals // Lithos. 2013. doi.org/10.1016/j.lithos.2012.08.02.

Reichow M.K., Pringle M.S., Al'Mukhamedov et al. The timing and extent of the eruption of the Siberian Traps large igneous province: implications for the end Permian environmental crisis // Earth Planet. Sci. Lett. 2008. Vol. 277. P. 9–20.

Stephenson R.A., Egorova T., Brunet M.-F. et al. Late Palaeozoic intra- and pericratonic basins on the East European craton and its margins // European lithosphere dynamics. Geol. Soc. London. Mem. 2006. Vol. 32. P. 463–479.

Youbi N., Söderlund U., Ernst R. et al. U-Pb geochronology of dyke and sill swarms of the West African craton (Anti-Atlas inliers): possible links to break-up of Precambrian supercontinents // Suprecontinent Symposium. Programme and Abstracts. Helsinki, 2012. P. 156–157.

PLUMES IN GEOLOGICAL HISTORY OF URALS

V.N. Puchkov

Identification and study of plume events in a foldbelt such as Urals, is handicapped because it is obscured by a complex combination of erosion, sedimentation, metamorphism and tectonic deformations. Nevertheless, study and correlation of dolerite, trachybasalt and trap magmatism of the Urals permits to put forward a preliminary list of complexes – "candidates" at attribution to Large Igneous Provinces (LIPs) which can be associated with plumes and superplumes. First of all, volcanics and intrusions of the Lower and Middle Riphean and Early Paleozoic in the Central Uralian zone belong to them, as well as Devonian sills and dykes of the West Uralian foldbelt and Triassic traps and dykes of the Southern to Cis-Polar Transuralian areas, and especially Polar Urals, Pai-Khoy and Novaya Zemlya. Their petro-geochemical properties permit to distinguish them from MOR and subduction volcanics; they are characterized by a wide areal development, very short periods of development, independence from a geological substrate. This is only a beginning of a difficult and complicated research work, aimed at a determination of a plume component in the geological history of the Urals.

Key words: magmatic provinces, geochemistry, age, plumes, Precambrian, Phanerozoic, Urals.

Сведения об авторе: *Пучков Виктор Николаевич* — докт. геол.-минерал. наук, чл.-корр. РАН, директор Ин-та геологии УНЦ РАН, *e-mail*: puchkov@ufaras.ru