

В. Н. Пучков
Институт геологии УНЦ РАН, г. Уфа
puchkv@ufaras.ru

**Взаимосвязь плитных и плюмовых процессов
в глобальном и региональном масштабе.
Плюмовые процессы на Урале**

Проявления плюм-тектоники и плейт-тектоники – суть разные стороны процесса термохимической конвекции [Добрецов, Кирдяшкин, 1993; Пучков, 2009] во всех «твердых» оболочках Земли, кроме внутреннего ядра. Конвекция пространственно разделяется на частично обособленные контуры с разными параметрами, отражающими их различия по фазовому состоянию, составу, температуре, вязкости и скорости движения вещества. Вследствие такого частичного обособления мы можем говорить о кооперации, взаимодействии и взаимовлиянии плейт- и плюм-тектонических процессов и сделать вывод о большом разнообразии этих проявлений, нуждающихся в систематизировании и классификации. Главными тектоническими силами, вызывающими движение плит, признаны интрузивное раздвигание в оси СОХ, погружение плит в мантию под действием силы тяжести, и волочение плит астеносферными течениями, связанными с верхним контуром мантийной конвекции.

Что касается плюмовых процессов, в них преобладают вертикально-направленные силы плавучести разогретых вследствие теплообмена с ядром и насыщенных флюидами и легкоплавкими компонентами отдельных участков мантии, приводящие к подъему обширных районов литосферы, ее растяжению, возникновению грабенов и радиальнонаправленных напряжений, и, в конечном счете, к созданию крупных магматических провинций (КМП) (*Large Igneous Provinces*) [Ernst, 2014]. Вместе с тем, колоссальная энергия суперплюмов расходуется не только на возникновение КМП, но и на усиление и периодическую реорганизацию конвективных течений в астеносфере, а значит, и на движение плит. Кроме того, плюмы взаимодействуют с литосферой – в том числе, толстой и холодной литосферой кратонов, вызывая ее эрозию снизу (со стороны подошвы), понижая сопротивление силам растяжения и разрыва, способствуя рифтогенезу активного типа и распаду континентов и суперконтинентов.

Взаимодействие плюмовых и плейт-тектонических процессов проявляется разнообразно: при сборке и распаде суперконтинентов, при активном рифтогенезе и образовании пассивных окраин континентов вулканического типа, генезисе вулканических цепей с закономерным изменением возраста вулканов на океанических (и реже континентальных) составляющих плит. К этой группе явлений принадлежат и более сложные случаи взаимодействия плюмов с мощными континентальными плитами, когда может происходить возникновение комплексов радиальных даек. Описан феномен «мантийного ветра» и его влияние на форму плюмов и анизотропию окружающей их мантии, с образованием параболических структур. Особое внимание привлекает описанное во многих публикациях взаимодействие плюмов и СОХ, при котором плюмы искажают первичную морфологию СОХ, «притягивая» или расщепляя их, вследствие ослабления литосферы над ними.

Плюмовой активности в субдукционно-коллизийных поясах, наоборот, уделялось незаслуженно мало внимания, несмотря на наличие отдельных очень

основательных региональных исследований, и автор попытался частично компенсировать этот пробел, обсудив эту проблему на примере геологической истории Урала. На Урале вопрос о широком развитии плюмовых процессов был поднят лишь в последнее десятилетие [Пучков, 2010; 2013; Puchkov et al., 2013; 2016], что объясняется сложностью выявления плюмов в древних складчатых областях, где невозможно применение сейсмотомографии, а магматические комплексы частично скрыты под более молодыми осадками, частично эродированы, и вдобавок подверглись интенсивным деформациям.

Петрохимическая характеристика пород плюмов и суперплюмов, при преобладании траппов, может быть очень разнообразной – от пикритов до риолитов, и включать также кимберлиты и карбонатиты. При этом исключаются магматические формации зон спрединга типа I-MORB и надсубдукционных зон.

Благодаря совершенствованию аналитических методов, на Урале геохимический облик магматических пород устанавливается в последнее время с достаточной достоверностью, а возраст их непрерывно уточняется, что при сопоставлении с данными других регионов, приводит к выводу о возможной принадлежности их к плюмам и суперплюмам субглобального масштаба [Краснобаев и др., 2013а; 2013б; Пучков и др., 2011; Puchkov et al., 2013; 2016]. Наиболее перспективными в этом плане являются магматические комплексы Урала (в пределах его западного склона), Пай-Хоя и Новой Земли, где по ним можно предположительно наметить восемь плюмовых и суперплюмовых эпизодов.

1. Вулканизм и малые интрузии нижнего рифея (RF_1). На Башкирском мегантиклинории, вблизи основания нижнего рифея (бурзянская серия), сложенного в основном терригенными и карбонатными отложениями, залегают субщелочные базальты навышской подсветы. Из пробы этих базальтов получены цирконы магматического габитуса и хорошей сохранности, по которым определен возраст 1752 ± 11 млн лет. Этот возраст принят нами как реперный, приближающийся к возрасту основания нижнего рифея в стратотипическом разрезе [Краснобаев и др., 2013а]. Данная датировка вулканитов вписывается в эпизод магматической деятельности (1750–1780 млн лет), проявившейся на целом ряде континентов.

2. Вулканиты и интрузии среднего рифея (RF_2). В основании среднего рифея залегают машакская свита, сложенная базальтами с подчиненными риолитами, а также терригенными толщами от конгломератов до глинистых сланцев. Свита развита в осевой и восточной областях Башкирского мегантиклинория и резко (на расстоянии 20 км) исчезает к западу, попадая в размыв. Вместе с особенностями химизма вулканитов, это обстоятельство позволяет предполагать, что мы имеем здесь западный борт грабена.

Возраст машакской свиты в последнее время был существенно уточнен U-Pb анализами по цирконам в трех лабораториях (SHRIMP во ВСЕГЕИ, в аналитическом Центре университета Кертин, Австралия и CA-IDTIMS в аналитической лаборатории Университета Бойси, США) [Краснобаев и др., 2013б; Puchkov et al., 2013]. Риолиты машакской свиты, расположенные в 300 м выше основания среднего рифея, датированы в пределах 1380–1385 млн лет. Это совпадает с ранее полученной по нашим образцам U-Pb методом (бадделеит) датировкой Главной Бакальской дайки, рвущей бакальскую свиту (1385.3 ± 1.4 млн лет), и ранее опубликованным датировкам Бердяшского плутона и Кусинско-Копанской интрузии. Генетически значимым представляется отнесение к машакскому уровню карбонатитового комплекса Сибири, поскольку карбонатиты обычно сопровождают КМП [Ernst, 2014].

Нами показано, что машакское магматическое событие распространялось далеко за пределы области развития машакской свиты – на участки развития раннего рифея в Башкирском мегантиклинории в виде даек и силлов южной периклинали Тараташского поднятия и на смежную часть Восточно-Европейской платформы в виде долеритов в скважинах Мензелино-Актанышская-183 и Восточноаскинская-1, Палью-1 на Тимане; вулканиты этого возраста известны в Гренландии, Лаврентии, на Сибирском кратоне. Как и в случае с рубежом 1750 млн лет, машакский вулканизм может представлять собой магматическое событие субглобального масштаба на суперконтиненте Нуна [Puchkov et al., 2013].

3. Верхний (RF₃) и низы завершающего (RF₄) рифея. В верхнем рифее вулканиты неизвестны. В последнее время стратиграфия вулканогенно-терригенной толщи на восточном крыле Башкирского мегантиклинория, которая раньше выделялась в качестве аршинской свиты и относилась к нижнему венду, была пересмотрена. Эта свита переведена нами в ранг серии в составе четырех свит. Изучение цирконов, выделенных из вулканогенных пород игонинской свиты, 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 [Puchkov et al., 2013]. Вблизи этих вулканитов находятся комагматичные им Бурангуловский и Мазаринский габбро-гранитные массивы того же возрастного уровня. В связи с этим предложено выделять аршинскую серию в качестве завершающего рифея (RF₄, аршиний), в границах примерно 750–600 млн лет. Помимо вышеуказанных магматических пород, в терминальном рифее предполагается развитие мисаелгинского интрузивного комплекса, который представлен двумя дифференцированными феррогаббродиабаз-пикритовыми телами, расположенными в западной части Тараташского выступа. Возраст диабазы из этих тел – 726±13 млн лет (Rb-Sr метод). На платформе в скважине 1-Кипчак описаны лавовые потоки измененных трахибазальтов, датированные Rb-Sr методом как 730 млн лет. Все эти магматические проявления вписываются в гипотетическую КМП, возникшую на самом крупном фрагменте распадающегося суперконтинента Родиния.

4. Верхи завершающего рифея. К аршинию может быть отнесена также более молодая Кирыбинская расслоенная перидотит-пироксенит-габбровая интрузия, расположенная на северо-востоке Башкирского мегантиклинория, которая была датирована как 680±3.4 млн лет. По данным В. М. Горожанина (устное сообщение), к ним по возрасту (689±5 млн лет, Rb-Sr метод) близки оливиновые базальты Кривой Луки. Близкие по возрасту магматиты известны и в Кваркушском антиклинории. Это шегровитский комплекс трахибазальтов – 672±22 млн лет, журавликский верлит-габбро-гранодиоритовый – 671±7.5 млн лет, Троицкий гранитоидный – 671±24 млн лет. Близкий возраст имеют базиты Онежского грабена: 667±31 млн лет. Это могут быть фрагменты скрытой КМП.

5. Ордовикские вулканиты и дайки, связанные с грабеновыми фациями. Образование грабеновых фаций – грубообломочных толщ весьма переменной мощности, сопровождаемое субщелочным вулканизмом, связано на Урале с рифтогенезом, который предвещает заложение пассивной континентальной окраины и океанического бассейна [Пучков, 2010]. Наличие обширной области магматических проявлений позволяет отнести сформировавшуюся окраину к вулканическому типу, образование которого предполагает наличие плюмовой компоненты и выражается в формировании КМП. Аналогичные комплексы отмечаются на востоке Сибирского кратона.

6. Позднеордовикско-силурийский магматический комплекс. Конкордантные U-Pb (SHRIMP) датировки цирконов получены для субщелочных базальтоидов, залегающих в поле развития айской свиты, среди аршинской серии в Тирлянской мульде, вблизи машакской свиты на р. Кузьелга и на хр. Бол. Шатак. Все датировки укладываются в узкий интервал 435–455 млн лет (конец ордовика – лландовери) [Пучков и др., 2011]. Из событий, ранее известных на Южном Урале, лишь одно относительно близко к ордовикско-силурийскому интрузивному этапу по возрасту и территориально, а возможно, и генетически: это возникновение большей части Ильмено-Вишневогорского щелочного карбонатитового комплекса (410–446 млн лет), испытывавшего затем преобразования на коллизионных рубежах позднего девона и перми.

7. Девонский магматизм. Новый обзор геологических данных и изотопных определений возраста долеритовых даек и вулканических излияний на всем протяжении Урало-Новоземельской складчатой области указывает на наличие в ней девонских дайковых роев и связанных с ним эффузивов [Ernst, 2014; Puchkov et al., 2016]. Один из этих роев имеет субмеридиональное простирание и связан с несколькими импульсами магматизма (в том числе верхнедевонским) в пределах пассивной окраины Восточно-Европейского континента (точнее Лавруссии). Второй выявляется на Пай-Хое и имеет по U-Pb определениям франско-фаменский возраст и северо-западное простирание. Третья область базальтового вулканизма (палеонтологически датированные базальтовые излияния поздне-среднедевонско-раннефранского возраста) широко представлены на Новой Земле. Все эти магматические проявления на период их формирования принадлежали восточному флангу Днепровско-Кольской КМП.

8. Триасовый магматизм. Триасовая КМП, наложившаяся на большую часть Урало-Новоземельской складчатой зоны, охватывает огромную территорию, включая Западно-Сибирскую плиту, Таймыр, Кузбасс и Сибирскую платформу, и эту провинцию следует называть Урало-Сибирской [Пучков, 2010]. Магматические события на границе перми и триаса можно рассматривать как проявления гигантского суперплюма. На Урале и в Приуралье к ним принадлежат излияния трапповых базальтов триасового возраста, развитые в Тургае, Челябинском районе Южного Урала, в Сосьвинском грабене, на западном склоне Полярного Урала, а также отдельные проявления триасового магматизма на Пай-Хое. С плюмами на Урале связан целый спектр полезных ископаемых [Puchkov, 2016].

Литература

Добрецов Н. Л., Кирдяшкин А. Г. Применение двухслойной конвекции к структурным особенностям геодинамики Земли // Геология и геофизика. 1993. Т. 34. № 1. С. 3–26.

Краснобаев А. А., Козлов В. И., Пучков В. Н., Сергеева Н. Д., Бушарина С. В., Лепехина Е. Н. Цирконология навьшских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале // Доклады академии наук. 2013а. Т. 448. № 4. С. 1–6.

Краснобаев А. А., Козлов В. И., Пучков В. Н., Бушарина С. В., Сергеева Н. Д., Падерин И. П. Цирконовая геохронология машакских вулканитов и проблема возраста границы нижний-средний рифей (Южный Урал) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2013б. Т. 21. № 5. С. 3–20.

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. Плюмы в истории Урала // Бюллетень МОИП. Отделение геологии. 2013. № 4. С. 64–73.

Пучков В. Н., Козлов В. И., Краснобаев А. А. Палеозойские U-Pb SHRIMP-датировки магматических пород Башкирского мегантиклинория // Геологический сборник ИГ УНЦ РАН. 2011. № 9. С. 36–43.

Ernst R. E. Large igneous provinces. Cambridge University press, 2014. 633 p.

Puchkov V. N. General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why // Ore Geology Review. 2016. doi:10.1016/j.oregeorev.2016.01.005.

Puchkov V. N., Bogdanova S. V., Ernst R., Söderlund U. et al. The ca. 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals // Lithos. 2013. Vol. 174. P. 109–124.

Puchkov V. N., Ernst R. E., Hamilton M. A., Söderlund U., Sergeeva N. A Devonian > 2000-km long dolerite swarm belt and associated basalts along the Urals-Novozemelian fold-belt: part of an East-European (Baltica) LIP tracing the Tuzo Superswell // GFF. Journal of the Geological Society of Sweden. 2016. Vol. 138. Is. 1. P. 6–16.

А. В. Маслов

*Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург
maslov@igg.uran.ru*

Литогеохимические особенности отложений и палеогеодинамические реконструкции¹

Конец XX столетия ознаменовался значительным расширением исследований областей, переходных между континентами и океанами. Для интерпретации обстановок формирования распространенных здесь терригенных ассоциаций активно привлекаются данные об их валовом химическом составе. На их основе в 1980-х гг. разработаны дискриминационные диаграммы, широко вошедшие в практику исследований. Так, для разграничения отложений активных и пассивных континентальных окраин предложена диаграмма $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$ [Maynard et al., 1982]. В целях идентификации тектонических обстановок накопления палеозойских граувакк созданы диаграммы $(Fe_2O_3^*+MgO)-K_2O/Na_2O$, $(Fe_2O_3^*+MgO)-Al_2O_3/SiO_2$ и др. [Bhatia, 1983], а несколько позднее – диаграмма SiO_2-K_2O/Na_2O [Roser, Korsch, 1986]. В работе [Bhatia, Crook, 1986] для выводов о геодинамической природе терригенных отложений использованы диаграммы Th–La–Sc, Sc–Th–Zr/10 и Sc/Cr–La/Y.

В основу построений [Maynard et al., 1982] положено представление о том, что рециклированные, зрелые терригенные образования, свойственные областям со спокойной тектоникой (платформы и пассивные континентальные окраины), характеризуются преобладанием K_2O над Na_2O и SiO_2 над Al_2O_3 . Напротив, присущие областям активной тектоники незрелые породы (граувакки и др.) характеризуются относительно небольшими величинами K_2O/Na_2O и SiO_2/Al_2O_3 . Примерно такой же принцип заложен в основу диаграммы SiO_2-K_2O/Na_2O [Roser, Korsch, 1986]. На графиках [Bhatia, 1983] отчетливо выражены изменения химического состава терригенных

¹ В основу настоящего сообщения положены материалы статьи: Маслов А. В., Подковыров В. Н., Мизенс Г. А., Ножкин А. Д., Фазлиахметов А. М., Малиновский А. И., Худoley А. К., Котова Л. Н., Купцова А. В., Гареев Э. З., Зайнуллин Р. И. Дискриминантные палеогеодинамические диаграммы для терригенных пород: опыт сопоставления // Геохимия. 2016. № 6. В печати.