

УДК 551.242.3(234/85)

DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-4-483-499

ПЛЮМЫ – НОВОЕ СЛОВО В ГЕОЛОГИИ УРАЛА© 2018 г. В. Н. Пучков^{1,2}¹Институт геологии УНЦ РАН, 450077, Уфа, ул. К. Маркса, 16/2²Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15,
e-mail: puchkv@ufaras.ru

Поступила в редакцию 15.06.2018 г., принята к печати 20.07.2018 г.

Предмет исследований. Представления о плюмовой тектонике возникли и стали разрабатываться всего лишь несколькими годами позже теории тектоники литосферных плит. Однако на Урале вопрос о проявлениях плюм-тектоники, в отличие от плейт-тектоники, практически не поднимался вплоть до последнего десятилетия. Это объясняется сложностью выявления плюмов в древних складчатых областях вообще, поскольку в них невозможно применение сейсмомографии, а магматические комплексы частично скрыты под более молодыми осадками, частично эродированы и вдобавок подверглись искажениям, связанным с распадом континентов, субдукцией и складчато-покровными деформациями. *Материалы и методы.* В течение последнего десятилетия среди магматических комплексов Урала (преимущественно в пределах его западного склона), Пай-Хоя и Новой Земли, благодаря уточнению возраста магматических формаций, изучению их геодинамически обусловленной петрохимии и корреляции их с комплексами аналогичного возраста в других регионах, автору удалось наметить 10 уровней возможного проявления плюмовых и суперплюмовых событий. *Результаты.* Предполагается наличие на территории современного Урала реликтов следующих плюмов: навьшского (нижний рифей), машакского (средний рифей), аршинского и кирябинского (терминальный рифей), маньхамбовского (кембрий), кидрясовского (ранний–средний ордовик), ушатского (поздний ордовик–ранний силур), Кольско-Днепровского (девон), степнинского (пермь), Урало-Сибирского (ранний–средний триас).

Ключевые слова: Урал, плюмы, суперплюмы, суперсвеллы, траппы, долериты, А-граниты, карбонатиты

THE PLUMES – A NEW WORD IN GEOLOGY OF THE URALSVictor N. Puchkov^{1,2}¹Institute of Geology, Ufimian Sciences Centre RAS, 16/2 K. Marx st., Ufa, 450077, Russia²A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st.,
Ekaterindurg, 620016, Russia, e-mail: puchkv@ufaras.ru

Received 15.06.2018, accepted 20.07.2018

Subject. The ideas of plume tectonics became active and developing only several years later than the theory of plate tectonics. But in the Urals, the question of plume tectonics, contrary to plate tectonics, was not raised, with rare exceptions, until the latest decade. It is explained by great difficulties in revelation of plumes in any ancient foldbelt, because seismic tomography is not applicable, and magmatic complexes are partly covered by younger sediments, partly eroded, and, additionally, undergone distortion, connected with continental break-ups and drift, subduction and fold-and thrust deformations. *Materials and methods.* Nevertheless, during the latest years, among the magmatic complexes of the Urals (mostly in its western areas), Pay-Khoy and Novaya Zemlya, owing to more precise definition of ages of magmatic formations, study of their geodynamically conditioned petrochemistry and their correlation with other regions, the author suggested ten levels of probable manifestations of plume/superplume events. *Results.* It is assumed that in the modern Urals the relics of follow plumes: Navysh (Lower Riphean), Mashak (Middle Riphean), Arsha and Kiryabinka (Terminal Riphean), Mankhambo (Cambrian), Kidryas (Lower–Middle Ordovician), Ushat (Late Ordovician–Lower Silurian), Kola-Dniepr (Devonian), Stepninsk (Permian), Ural-Siberian (Lower–Middle Triassic) had remained.

Keywords: Urals, plumes, superplumes, superswells, flood basalts, dolerites, A-granites, carbonatites

Acknowledgements

The author is grateful to Academician of the Russian Academy of Sciences M.I. Kuzmin, for constructive discussion.

This work was supported by the RNF (project No. 16-17-10192).

Статья написана по заказу Редколлегии.

Для цитирования: Пучков В.Н. (2018) Плюмы – новое слово в геологии Урала. *Литосфера*, **18**(4), 483–499. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-4-483-499

For citation: Puchkov V.N. (2018) The Plumes – a new word in Geology of the Urals. *Litosfera*, **18**(4), 483–499. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-4-483-499

ВВЕДЕНИЕ

Мысль о том, что цепи океанических островов являются “горячими точками” – поверхностными проявлениями аномальных участков плавления в мантии, была высказана свыше полвека тому назад [Wilson, 1963]. Вслед за тем идея была развита [Morgan, 1971], в виде концепции мантийных плюмов (“перьев”, “плюмажей”), – пространственно зафиксированных вертикальных конвективных потоков горячего легкого флюидонасыщенного вещества, поднимающихся от границы ядро/мантия, след которых на земной поверхности зависит от движения литосферных плит, что позволяет использовать проекцию любого из них на земную поверхность в качестве точки отсчета при анализе движений плит. Анализ распределения внутриплитного магматизма на земной поверхности [Зоненшайн, Кузьмин, 1983] позволил выделить две обширные провинции, названные горячими полями мантии. Использование сейсмоотографии [Dziewonski, 1984] позволило закартировать эти провинции в качестве мантийных областей с низкими скоростями сейсмических волн. В этих провинциях формируются как отдельные плюмы, которые долго существуют в установленном месте, по которым можно делать абсолютные палеорекострукции, так и суперплюмы, которые, поднимаясь к поверхности, могут образовывать крупные магматические провинции (КМП, или LIPs – Large Igneous Provinces) [Ernst, 2014]. Они независимо накладываются на различные тектонические структуры, связаны с рифтогенезом активного типа и отличаются относительно коротким временем проявления. Дальнейшее развитие концепция плюмов получила в представлении о суперсвеллах – активных, горячих областях на границе ядра и мантии в слое “D”, генерирующих плюмы.

Термины “горячие точки”/“горячие поля” употребляются и по сию пору, но нужно отдавать себе отчет, что они соотносятся с терминами “плюмы”/“суперплюмы”, как в медицине симптом относится к диагнозу.

Представления о плюмах и суперплюмах сочетаются с теорией тектоники литосферных плит, объясняющей движения земной коры и литосферы, образование океанической коры, субдукционных, пассивных рифтовых зон и складчатых орогенических поясов под действием конвективных потоков в мантии. В сочетании с плюм-тектоникой эта теория в последнее время приобретает глобальный характер, описывая как относительно поверхностные, так и глубинные процессы земных недр в их взаимодействии и единстве, на фоне циклического образования и распада суперконтинентов [Yarمولuk, Kuzmin, Ernst, 2014; Пучков, 2016; Кузьмин, Ярмолук, 2017; и др.].

ПЛЮМЫ НА УРАЛЕ

Вопрос о широком развитии плюмовых процессов на Урале был поднят лишь в последнее десятилетие [Пучков, 2010], что объясняется сложностью выявления плюмов в древних складчатых областях, где невозможно применение сейсмоотографии, а магматические комплексы частично скрыты под более молодыми осадками, частично эродированы, и вдобавок подверглись колоссальным искажениям вследствие распада континентов и субдукции океанической коры, а также интенсивным деформациям в ходе орогения с образованием тектонических покровов.

Петрохимическая характеристика магматических пород плюмов и суперплюмов, при подавляющем преобладании траппов и долеритов, бывает очень разнообразной – от пикритов до риолитов, и может включать расслоенные базит-ультрабазитовые интрузии, кимберлиты и карбонатиты, причем присутствие этих комплексов, а также гранит-риолитовой ассоциации сильно зависит от характера коры и литосферы в целом [Ernst, 2014; Puchkov, 2017]. При этом обычно исключаются магматические формации зон спрединга с базальтами типа I-MORB, надсубдукционных зон и орогенов. Как правило, к плюмовым относятся магматические породы – результаты частичного плавления относительно глубинной, слабо деплетированной мантии и их вторичные производные, образованные вследствие дифференциации и ликвации магмы, а также плавления земной коры под действием первичных расплавов.

На Урале, благодаря совершенствованию аналитических методов, геохимический облик магматических пород устанавливается в последнее время с достаточной достоверностью [Ernst et al., 2006; Холднов и др., 2017], а возраст их непрерывно уточняется [Puchkov et al., 2014; и др.], что при сопоставлении с данными других регионов приводит к выводу о возможной принадлежности их к плюмам и суперплюмам субглобального масштаба [Пучков, 2010, 2013; Puchkov, 2016; Puchkov et al., 2013, 2016]. Наиболее перспективными в этом плане являются магматические комплексы Урала преимущественно в пределах его западного склона, Пай-Хоя и Новой Земли, где по ним можно предположительно наметить 10 плюмовых и суперплюмовых эпизодов: навышский (нижний рифей), машакский (средний рифей), аршинский и кирябинский (терминальный рифей), маньхамбовский (кембрий), кидрясовский (ранний ордовик), ушатский (поздний ордовик–ранний силур), Кольско-Днепровский (девонский), степнинский (пермский) и Урало-Сибирский (ранне-среднетриасовый).

Нетрудно заметить, что среди вышеперечисленных нет магматических комплексов, первично образованных на океанической коре. Эпиокеаниче-

ские плюмовые комплексы широко распространены в современных океанах, но они имеют очень мало шансов сохраниться в древних складчатых поясах вследствие субдукции. Тем не менее было бы опрометчиво совсем исключать эту возможность. Офиолиты складчатых поясов – и уральские в частности – должны быть проверены на наличие щелочных комплексов глубинного происхождения. В качестве примера приведу описанные в Наранском офиолитовом комплексе Монголии [Вахрушева, 2012] дайки меланефелинитов и базанитов с карбонатными прожилками, которые ничего общего (кроме совместного нахождения) не имеют с офиолитами и могут быть интерпретированы как след плюма.

1. Вулканизм и малые интрузии нижнего рифея (RF₁)

В пределах Башкирского мегантиклинория, вблизи основания нижнего рифея (бурзьянская серия), сложенного в основном терригенными и карбонатными отложениями, залегают субщелочные базальты навышской подсвиты айской свиты (рис. 1). В 2011 г. в пробе 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., 2013a]. Данная датировка вулканитов вписывается в эпизод магматической деятельности (1750–1780 млн лет), проявившийся на целом ряде континентов). На Балтике известны и другие проявления базальтоидного вулканизма этого уровня: базальтоиды Ропручей в Карелии и наиболее молодые палеопротерозойские дайки Украинского щита. В этих районах указанный рубеж отчетливо связан с заложением авлакогенов (рифейских грабенов). Базальты с этим возрастом развиты и на других фрагментах суперконтинента Нуна: в Северо-Западной Африке, на Сибирской платформе, в Лаврентии и Северном Китае [Пучков, 2013 и ссылки в этой работе; Youbi et al., 2013] (рис. 2).

2. Вулканыты и интрузии среднего рифея (RF₂)

В основании среднего рифея залегает машакская свита, сложенная базальтами с подчиненными риолитами, а также терригенными толщами, от конгломератов до глинистых сланцев (рис. 3). Свита развита в осевой и восточной областях Башкирского мегантиклинория и резко (на расстоянии 20 км) исчезает к западу, попадая в разрыв. Вместе с особенностями химизма вулканитов это обстоятельство позволяет предполагать, что мы имеем здесь западный борт грабена, простираение которого отчетливо уральское.

Возраст машакской свиты в последнее время был существенно уточнен [Краснобаев и др., 2013b; Puchkov et al., 2013] U-Pb анализами по цирконам в трех лабораториях (SHRIMP во ВСЕГЕИ, в аналитическом Центре университета Кёртин, Австралия и CA-IDTIMS в аналитической лаборатории Университета Бойси, США). 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 (бадделейт) датировкой Главной Бакальской дайки, рвущей бакальскую свиту: 1385.3 ± 1.4 млн лет [Ernst et al., 2006], и ранее опубликованными датировками Бердяшского плутона и Кусинско-Копанской интрузии, которые рассматривались как комагматы машакских вулканитов [Puchkov et al., 2013]. Генетически значимым представляется отнесение к машакскому уровню карбонатитового комплекса Сибирки, поскольку карбонатиты обычно сопровождают КМП (LIPs) [Ernst, 2014]. В 2009 г. В.М. Горожаниным впервые получены аналитические данные Rb-Sr методом, указывающие на то, что возраст метасоматического комплекса Сибирки 1396 ± 142 млн лет, что близко машакскому комплексу. Позже этот вывод был подтвержден новыми абсолютными датировками (U-Pb метод, SHRIMP, по циркону и Sm-Nd метод) [Холоднов и др., 2014].

Согласно недавней публикации [Холоднов и др., 2017], машакский рифтогенез носил отчетливо активный характер, т.е. был вызван плюмовыми процессами, что отразилось на особенностях геохимии машакских вулканитов и интрузий и общем тренде их эволюции: от пород с параметрами обогащенной мантии (E-MORB, OIB) к породам, приближающимся к N-MORB. Это может свидетельствовать о процессе утонения литосферы, вплоть до стадии Аденского рифта, как это имеет место в Восточно-Африканской рифтовой зоне.

Нами показано, что машакское магматическое событие в виде вулканитов, дайковых роев и глубинных интрузий распространялось далеко за пределы области развития машакской свиты – на участки развития раннего рифея в Башкирском мегантиклинории в виде Бердяшского плутона рапакиви и Ахмеровского гранитного массива, багрушинских риолитовых даек, долеритовых силлов и даек южной периклинали Тараташского поднятия, а также на смежную часть Восточно-Европейской платформы в виде долеритов, зафиксированных 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; El Bahat et al., 2013] (см. рис. 2).

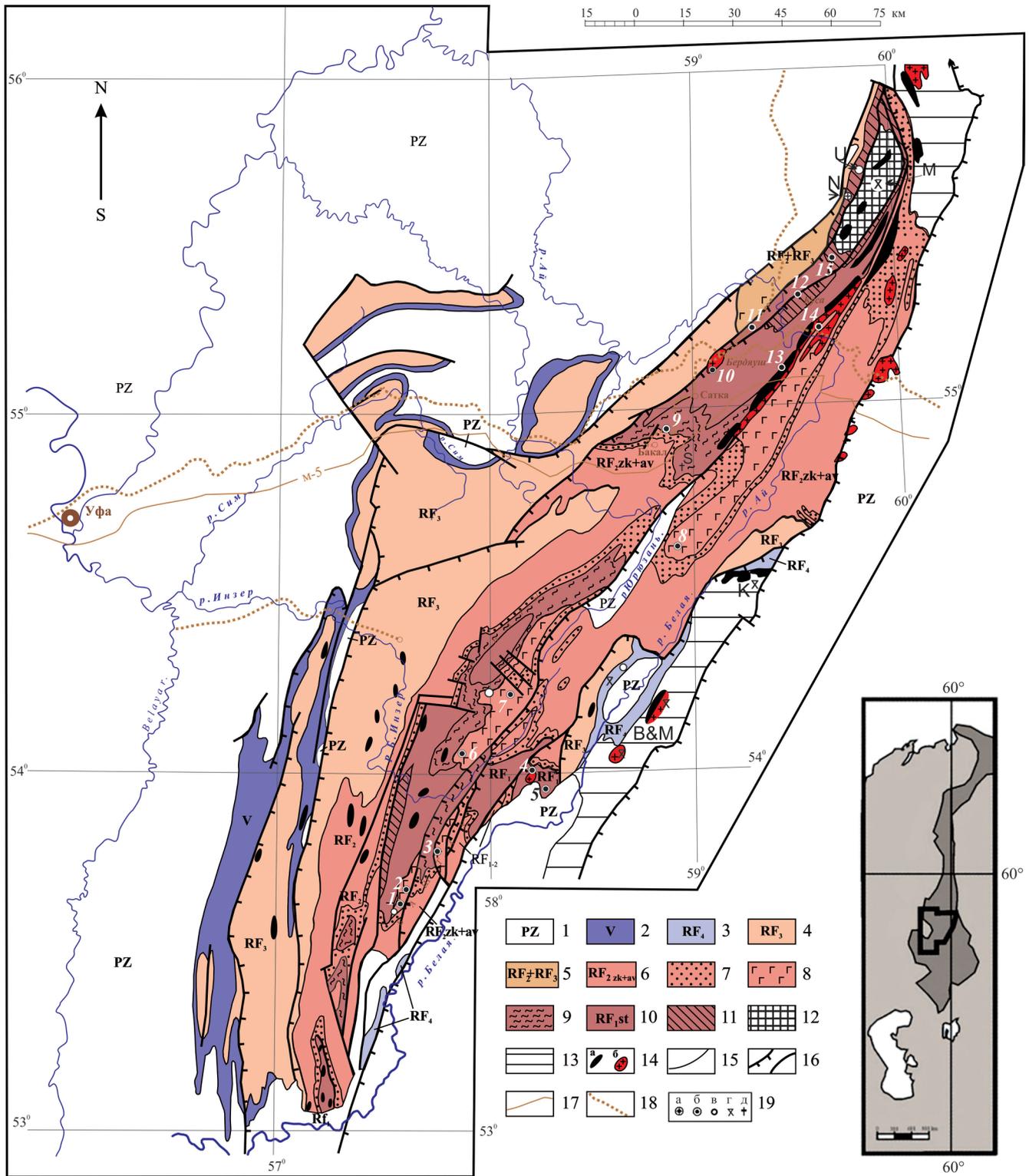


Рис. 1. Предполагаемые плутовые комплексы Башкирского мегантиклинория.

Точками показано положение датированных образцов рифея на геологической карте Башкирского мегантиклинория. 1–5 – нерасчлененные отложения: 1 – палеозоя (PZ), 2 – венда (V), 3 – завершающего (RF₄), 4 – верхнего (RF₃), 5 – среднего–верхнего (RF₂ + RF₃) рифея; 6–11 – свиты: 6 – нерасчлененные зигазино-комаровская и авзянская (RF₂ zk + av), 7 – зигальгинская и 8 – машакская среднего рифея, 9 – бакальская (юшинская), 10 – саткинская (суранская) и 11 – айская (большеинзерская) нижнего рифея (RF₁); 12 – тараташский комплекс; 13 – Уралтауский и Уфалейский метаморфические комплексы; 14 – магматические породы: габбро (а) и граниты (б); 15 – геологические границы; 16 – основные тектонические нарушения (надвиги и сбросы); 17 – автомагистрали; 18 – железные дороги; 19 – точки отбора проб на цирконы: а – в тра-

хибазальтах навышской свиты, б – в риолитах машакской свиты и дайках машакского возраста, в – вулканыты ушатского комплекса с возрастом около 450 млн лет; г – магматические породы аршиния; д – карбонатиты (Сибирка).
 Буквы на схеме: N – навышская подсвита нижнего рифея, M – мисаелгинский расслоенный комплекс, S – карбонатитовый среднерифейский комплекс Сибирки. Магматические комплексы, датированные как терминальный рифей: Ig – игонинские базальты; K – Кирябинская расслоенная интрузия, B&M – Барангуловский и Мазаринский массивы (Барангуловский комплекс). U – ушатский вулканический комплекс раннего палеозоя (типовой разрез).
 Курсивом обозначены цифры на схеме, относящиеся к магматическим породам машакского возрастного уровня: 1, 2 – хр. Шатак; 3 – скв. Карагас-3, базальты; 4 – Ахмеровские граниты; 5 – эколгиты Белорецкого комплекса; 6 – гора Дунаунсунган, риолиты; 7 – р. Кузьелга, риолиты, хр. Машак; 8 – Кувашский комплекс, р. Березьяк, риолиты; 9 – Главная дайка Бакала, долериты; 10 – Бердяушский массив, граниты рапакиви и сиениты; 11 – риолитовые дайки на р. Багруша; 12 – Куца, долеритовый силл; 13 – Кусинско-Копанский расслоенный габбровый массив; 14 – Рябиновские и Губенские граниты; 15 – долеритовая дайка в карьере у моста через р. Навыш [Puchkov et al., 2013].

Fig. 1. Supposed plume complexes of the Bashkirian meganticlinorium.

The dots show positions of dated Riphean samples on the geological map of the meganticlinorium. Symbols in boxes: 1–5 – un-subdivided deposits: Paleozoic (PZ), 2 – Vendian (V), 3 – Terminal Riphean, RF₄, 4 – Upper Riphean, RF₃; 5 – RF₂ + RF₃ Middle–Upper Riphean; 6–11 – Formations: 6 – Unsubdivided Middle Riphean Zigazino-Komarov and Avzyan (RF₂ zk + av), 7 – Zigalga (RF₂), 8 – Mashsk (RF₂), 9 – Bakal (Yusha), 10 – Satka (Suran) and 11 – Ai (Bolsheizer) of the Lower Riphean (RF₁); 12 – Taratash complex (Archean–Paleoproterozoic); 13 – Uraltau and Ufaley metamorphic complexes; 14 – intrusions: a – gabbro and dolerites, б – granites; 15 – geological boundaries; 16 – main faults (thrusts and normal faults); 17 – highways; 18 – railways; 19 – dated magmatic rocks: a – Navysh, б – Mashak, в – Ushat, г – Arshinian, д – carbonatites of Sibirka.
 Letters on the scheme: N – Navysh Subformation of the Lower Riphean, M – Misayelga layered intrusions; S – carbonatite Middle Riphean complex of Sibirka, Ig – Igonino basalts, K – Kiryabinka layered complex, B&M – Barangulovo and Mazara intrusions (Barangulovo complex), U – Ushat volcanics (type section) of the Early Paleozoic.
 Figures in italics – the volcanics and their comagmates of the Mashak age level: 1, 2 – Shatak Range; 3 – Karagas-3 borehole basalts; 4 – Akhmerovo granites; 5 – eclogites of the Beloretsk complex; 6 – Dunansungan rhyolites; 7 – Kuzyelga river, Mashak Range rhyolites; 8 – Kuvash complex, Berezyak river, rhyolites; 9 – The Main Dike of Bakal; 10 – Berdyaush massif; 11 – rhyolite dikes on Bagrusha river; 12 – Kusa dolerite sill; 13 – Kusa-Kopan layered gabbo intrusion; 14 – Ryabinovsk and Gubensk granites; 15 – dolerite dike in the quarry near the bank of Navysh river [Puchkov et al., 2013].



Рис. 2. Магматические комплексы нижнерифейского (1750–1780 млн лет) и среднерифейского (1380–1385 млн лет) возраста на реконструкции континента Нуна (Коламбия).

Знаки под схемой: 1 – рифтовая зона со среднерифейским (машакским) возрастом; 2 – рифтовая зона с возрастом 1280 млн лет. СА – Северная Америка, С – Сибирия, Б – Балтика, А – Амазония, 3А – Западная Африка, СК – Северокитайская платформа.

Нижнерифейские вулканыты (навышский уровень): а – навыш, б – Украинский щит, в – долериты Ропручей, г – дайки Атласа; д – дайки Северокитайской платформы, е – радиально расположенные дайки Сибирской платформы, ж – дайки оз. МакРае, з – дайки Кливер, и – дайки Хэдди Бэй [Пучков, 2013 и ссылки в этой работе]. Среднерифейские вулканыты (машакский уровень): 1 – Машакская свита и ее возрастные аналоги, 2 – силлы в скважинах на платформе в Приуралье, 3 – Анабарская дайка, 4 – скв. Палью-21, 5 – Силлы Мидсоммерсо и Зиг-Заг-Дал, 6 – дайки Виктория Лэнд, 7 – Силл Харт Ривер, 8 – силлы Сэлмон Ривер Арч [Puchkov et al., 2013 и ссылки в этой работе].

Fig. 2. The magmatic complexes of the Lower Riphean (1750–1780 Ma) and Middle Riphean (1380–1385 Ma) age on the reconstruction of Nuna (Columbia) supercontinent.

The sybbols under the scheme: 1 – rift zone with the mashak (Middle Riphean) age; 2 – rift zone with 1280 Ma. CA – Northern America, C – Siberia, Б – Baltica, A – Amazonia, 3A – Western Africa, CK – Northern China platform. Lower Riphean volcanics (Navysh level): a – navysh, б – dikes of the Ukraine shield, в – Ropruchey dolerites, г – dikes of Atlas, д – dikes of the Northern China platform, е – radial dikes of Sberian platform, ж – dikes of McRae lake, з – Cleaver dikes, и – dikes of Headley Bay [Puchkov, 2013 and references therein]. Middle Riphean volcanics (Mashak level): 1 – Mashak Formation and its age analogues, 2 – sills in boreholes at the platform Cis-Urals, 3 – Anabar dike, 4 – Palyu borehole, 5 – Midsommerso and Zig-Zag-Dal sills, 6 – Victoria Land dikes, 7 – Heart River sills, 8 – Salmon River Arch sills [Puchkov et al., 2013 and references therein].

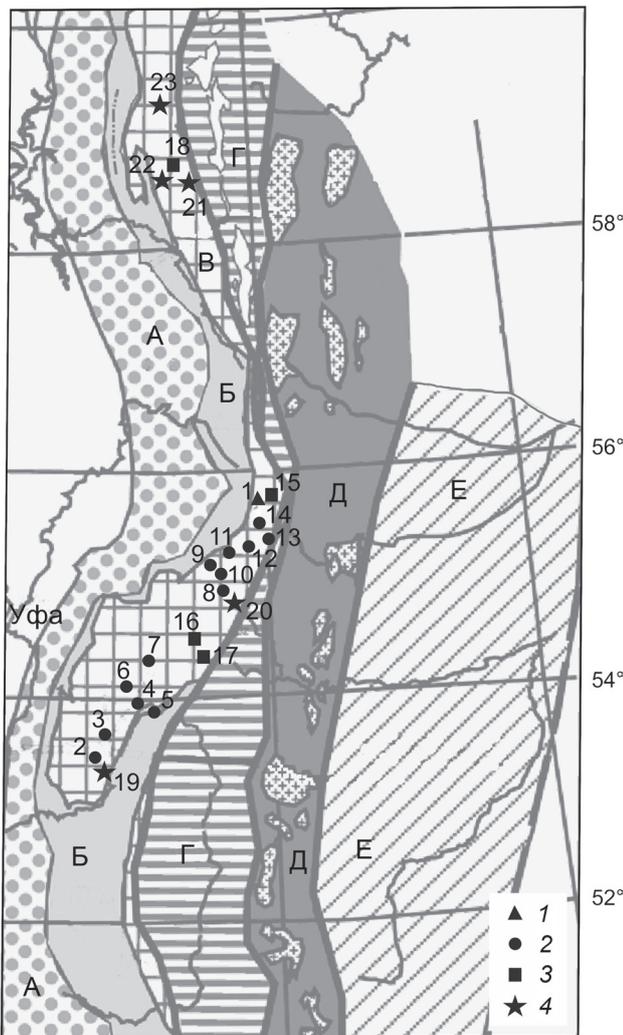


Рис. 3. Рифейские (мезо- и неопротерозойские) магматические комплексы предположительно плюмовой природы в Центрально-Уральской зоне Южного и Среднего Урала. Серым цветом показана схема тектонической зональности Урала [Пучков, 2010, рис. 11].

А – Предуральный краевой прогиб, Б – Западноуральская зона складчатости, В – Центрально-Уральская зона, Г – Тагило-Магнитогорская зона, Д – Восточно-Уральская зона, Е – Зауральская зона. Значки на схеме: 1 – вулканиды навьшской свиты нижнего рифея, ≈1750 млн лет; 2 – магматические комплексы машакского уровня среднего рифея, 1380–1385 млн лет; 3 – магматические комплексы игонинского уровня (терминальный рифей), 710–740 млн лет; 4 – магматические

комплексы кирябинского уровня, 670–680 млн лет. Цифры на схеме – точки сбора датированных образцов: 1 – навьшский комплекс, западное крыло Тараташского поднятия; 2–14 – машакский комплекс: 2 – риолиты хр. Шатак; 3 – скв. Карагас № 3, базальты; 4 – Ахмеровские граниты; 5 – эцлогиты белорецкого комплекса; 6 – риолит горы Дунасанган; 7 – риолит р. Кузельга, хр. Машак; 8 – риолит р. Березьяк, кувашский комплекс; 9 – Главная Бакальская дайка долеритов; 10 – карбонатиты Сибири; 11 – граниты рапакиви Бердяушского плутона и ассоциированные с ними породы (в частности, риолитовые дайки Багруши); 12 – Куса-Копанская базитовая интрузия, 13 – граниты Рябиновского плутона; 14 – дайка в карьере у моста через р. Навыш; 15–18 – магматические комплексы игонинского уровня: 15 – Мисаелгинские расслоенные интрузии; 16 – вулканиды игонинской свиты; 17 – бурангуловско-мазаринский габбро-гранитный комплекс; 18 – сарановский расслоенный габбро-перидотитовый комплекс; 19–23 – магматические комплексы кирябинского уровня: 19 – дайка Кривой Луки; 20 – расслоенная Кирябинская габбро-перидотитовая интрузия; 21 – журавликский верлит-габбро-гранодиоритовый комплекс; 22 – щегровитский комплекс трахибазальтов; 23 – троицкий гранитоидный комплекс.

Fig. 3. Riphean (Meso- and Neoproterozoic) igneous complexes of presumably plume nature in Central Zone of Southern and Middle Urals. Tectonic zoning of Urals [Puchkov, 2010, Fig. 11] is shown in gray.

А – Ural Foredeep, Б – West Ural Fold Zone, В – Central Ural Zone, Г – Tagil-Magnitogorsk Zone, Д – East Ural Zone, Е – Transural Zone. Symbols on the scheme: 1 – volcanic rocks of Lower Riphean Navysh Formation, ≈1750 Ma; 2 – igneous complexes of Middle Riphean Mashak level, 1380–1385 Ma; 3 – igneous complexes of terminal Riphean Igonino level, 710–740 Ma; 4 – igneous complexes of Kiryabinka level, 670–680 Ma. Location of dated samples (numerals in figure): 1 – Navysh complex, western limb of Taratash Uplift; 2–14 – Mashak complex: 2 – rhyolite, Shatak Range; 3 – basalt, Karagas 3 borehole; 4 – granite, Akhmerovo; 5 – eclogite, Beloretsky complex; 6 – rhyolite, Mt. Dunansungan; 7 – rhyolite, Kuzelga R., Mashak Range; 8 – rhyolite, Kuvash complex, Berezyak R.; 9 – Main Bakal dolerite dike; 10 – carbonatite, Sibirka; 11 – rapakivi granite and associated rocks, Berdyaush pluton; 12 – mafic rocks, Kusa-Kopan intrusion; 13 – granite, Ryabinovka pluton; 14 – dike in quarry near bridge across Navysh River; 15–18 – igneous complexes of Igonino level: 15 – Misaelga layered intrusions; 16 – volcanic rocks of Igonino Formation; 17 – Burangulovo–Mazara gabbro-granite complex; 18 – Sarana gabbro-peridotite layered complex; 19–23 – igneous complexes of Kiryabinka level: 19 – dike, Krivaya Luka; 20 – Kiryabinka gabbro-peridotite layered intrusion; 21 – Zhuravlik wehrlite-gabbro-granodiorite complex; 22 – Shchegrovitsk complex of trachybasalts; 23 – Troitsk granitoid complex.

3. Верхний (RF₃) и низы завершающего, или терминального (RF₄), рифея

В верхнем рифее вулканы 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, состоящей из четырех свит. Изучение цирконов, выделенных из вулканогенных пород игонинской свиты, позволило прийти к выводу о полихронности аршинского вулканизма – о проявлении двух основных этапов (пульсов) в его эволюции с рубежами 707.0 ± 2.3 млн лет и 732.1 ± 1.7 млн лет [Краснобаев и др., 2012]. Вблизи этих вулканитов находятся Барангуловский и Мазаринский гранитные массивы и габбро того же возрастного уровня [Краснобаев и др., 2007, 2015]. В связи с этим предложено выделять аршинскую серию в качестве завершающего или терминального рифея (RF₄, аршиний), в грани-

цах 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 [Пучков, Ковалев, 2013] (см. рис. 1). Возраст диабазов из этих тел – 726 ± 13 млн лет (Rb-Sr метод). На Северном Тимане на том же возрастном уровне 727 ± 5 млн лет находятся крупнопорфировые и гнейсовидные граниты, рвушице габбро-долериты и прорванные жилами гранит-порфиров и гранит-аплитов (массив Сопки Каменные) [Andreichev et al., 2017]. На Восточно-Европейской платформе, в скв. 1-Кипчак, описаны лавовые потоки измененных трахибазальтов возрастом 730 млн лет (R-Sr метод) [Горожанов, 2009]. Все эти магматические проявления вписываются в гипотетическую LIP, возникшую на самом крупном фрагменте распадающегося суперконтинента Родиния (рис. 4) на рубежах примерно 720–750 млн лет.

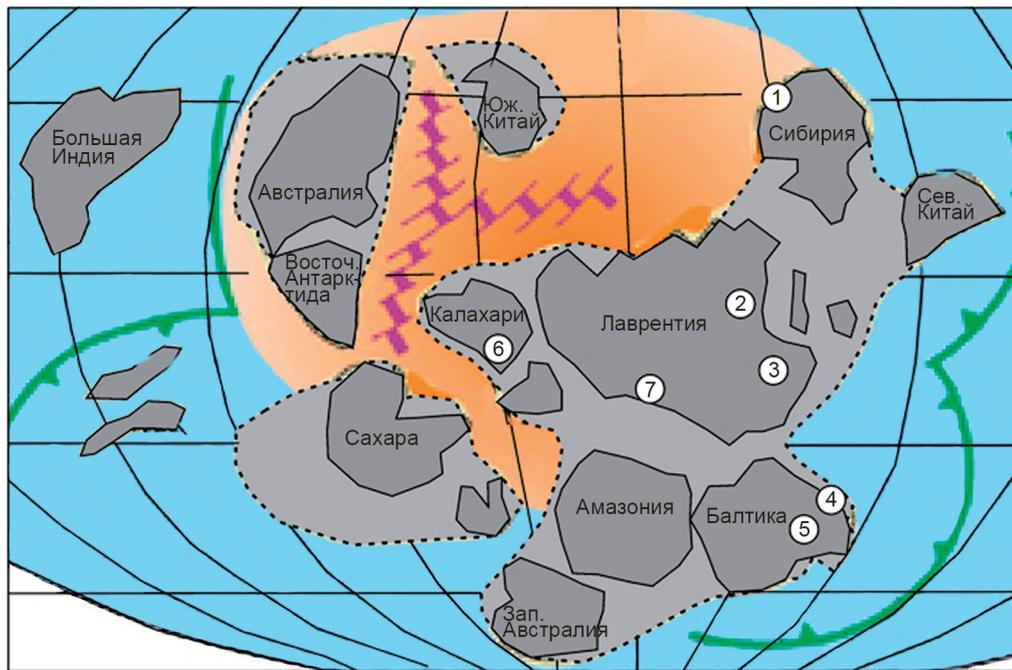


Рис. 4. Магматические комплексы терминального рифея с возрастом 720–750 млн лет на реконструкции распадающегося суперконтинента Родиния 720 млн лет назад [Богданова и др., 2009].

Магматические провинции: 1 – Иркутск, 2 – Франклин, 3 – Туле, 4 – Южный и Средний Урал (Сарана, Мисаелгинский расслоенный комплекс, Аршинские вулканы, Барангуловско-Мазаринский интрузивный комплекс); 5 – вулканы кипчакской свиты в Волго-Уральской области; 6 – комплекс Мутаре (кратон Калахари); 7 – комплекс Маунт Роджерс (восток Лаврентии). Континентальная реконструкция по [Богданова и др., 2009].

Fig. 4. Terminal Riphean igneous complexes (710–750, mainly 720–730 Ma) in reconstruction of broken up Rodinia supercontinent 720 Ma ago [Bogdanova et al., 2009].

Igneous provinces (numerals in circles): 1 – Irkutsk, 2 – Franklin, 3 – Thule, 4 – South and central Urals (Sarana, Misaelga layered complex, Arsha volcanic rocks, Burangulovo-Mazarino intrusive complex); 5 – volcanic rocks of Kipchak Formation in Volga-Ural domain; 6 – Mutare complex, Kalahari Craton; 7 – Mount Rogers (eastern Laurentia). The continental reconstruction after [Bogdanova et al., 2009].

4. Верхи завершающего рифея

К аршину может быть отнесена также более молодая Кирыбинская расслоенная перидотит-пироксенит-габбровая интрузия, расположенная на северо-востоке Башкирского мегантиклинория возрастом 680 ± 3.4 млн лет [Краснобаев и др., 2013в] (см. рис. 1). 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 щегровитский комплекс трахибазальтов – 672 ± 22 млн лет, журавликский верлит-габбро-гранодиоритовый – 671 ± 7.5 млн лет, троцкий гранитоидный – 671 ± 24 млн лет [Петров и др., 2005]. Близкий возраст имеют базиты Онежского грабена – 667 ± 31 млн лет [Носова и др., 2008]. Это могут быть фрагменты скрытой КМП.

5. Кембрийские А-граниты Приполярного и Полярного Урала (Маньхамбовский комплекс)

В обзорной монографии [Пучков, 2010 и ссылки в ней] несколько страниц посвящено обсуждению вопроса о тектонической природе основной массы гранитоидов севера Урала. По изотопным возрастам, особенностям петрохимии и геологическим соотношениям с окружающими вулканитами и габброидами они существенно различаются и делятся на I- и А-типы.

I-гранитоиды представлены широким спектром пород от кварцевых диоритов до лейкогранитов, в их число входят Малдинский, Народнинский, Вангырский, Лапчавожский, Ильяизский массивы. С ними связаны вулканиты последовательно дифференцированных базальт-андезит-дацитовых серий. Сами они образуют габбро-диорит-гранодиорит-гранитные серии и на петрохимических диаграммах попадают в поля конвергентных геодинамических обстановок и активных континентальных окраин. Абсолютные возрасты по циркону методом термояонной эмиссии свинца, U-Pb методом, а также по данным SHRIMP имеют разброс от терминального рифея до кембрия (от 695 ± 19 до 515 ± 8 млн лет, с подавляющим преобладанием вендских цифр). А-гранитоиды, к которым относятся Лемвинский, Тынаготский, северная часть Народнинского, Маньхамбо, Хартесский, Кефталыкский, Тынаготский, Кожимский и другие массивы, имеют узкий спектр составов (преобладают лейкократовые разности), связаны с габбро в контрастные ассоциации (образованные одновременно с ними риолиты пространственно ассоциируют с базальтами). По петрохимии они родственны магматическим формациям дивергентных геодинамических обстановок. Возрастные датировки (Pb-Pb, U-Pb, SHRIMP) группируются в диапа-

зоне 564–487 млн лет, т.е. захватывают самый конец венда и в основном кембрий. По изотопным датировкам создается парадоксальное впечатление о субсинхронности образования рядом расположенных I- и А-гранитных массивов, например Ильяизского и Маньхамбовского [Udoratina et al., 2017], и, соответственно, сосуществовании контрастных геодинамических обстановок: коллизионной и рифтогенной.

С позиций современных взглядов на геодинамику северных районов Урала, расположенных к западу от Главного Уральского разлома, можно дополнить приведенную выше характеристику следующим образом. Имеющиеся геологические данные позволяют достаточно уверенно говорить о вендском, преимущественно поздневендском времени формирования коллизионного орогена тиманид. Коллизии предшествовала субдукция, проявившаяся в конце рифея–начале венда, так что I-граниты формировались преимущественно в субдукционно-коллизионных условиях. В кембрии, практически без перерыва, начал развиваться плюм и возможно обусловленный им рифтогенез активного типа, что привело к формированию крупной магматической провинции существенно кремнекислого типа Silicic LIP (по [Ernst, 2014]; см. также [Puchkov, 2017]). Присутствие большого объема гранитоидов в продуктах плюма могло быть связано с тем, что после только что закончившейся тиманской орогении в литосфере еще сохранялись высокие температуры, что вызывало аномально большие масштабы плавления в коре, и при этом происходил обмен геохимическими и радиоизотопными характеристиками между уже сформированными I-гранитами и формируемыми А-гранитами, что усиливало ложное впечатление о сосуществовании контрастных геодинамических обстановок. Известно, что в ряде случаев кремнекислые КМП характеризуются присутствием I-гранитов [Ernst, 2014].

6. Ордовикские вулканиты и дайки, связанные с грабеновыми фациями

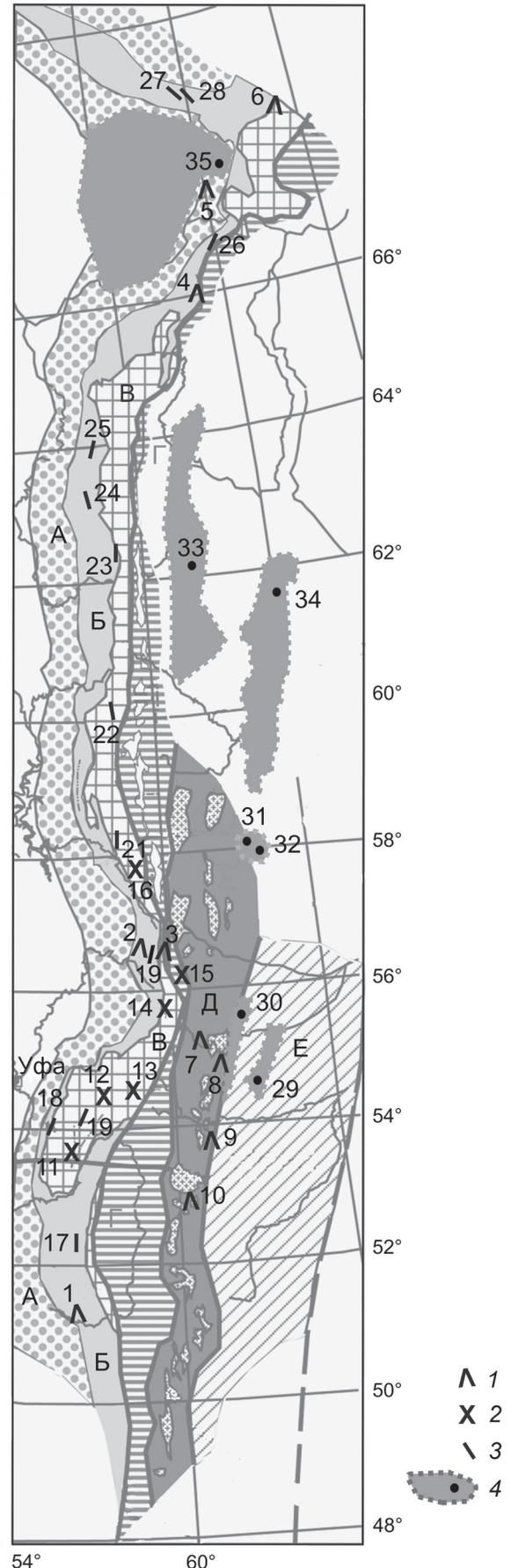
Образование грабеновых фаций – грубообломочных толщ весьма переменной мощности, сопровождаемое субщелочным вулканизмом, связано на Урале с рифтогенезом, который предваряет заложение пассивной континентальной окраины и океанического бассейна [Puchkov, 2002; Пучков, 2010] (рис. 5). Наличие обширной области магматических проявлений позволяет отнести сформировавшуюся окраину к вулканическому типу [Меланхолина, 2011], образование которой предполагает наличие плюмовой компоненты и выражается в формировании КМП. На Южном Урале прекрасные разрезы грабеновых комплексов принадлежат кидрясовской свите позднего кембрия (?) – тремадока, представленной груботерригенными толщами

Рис. 5. Палеозойские и триасовые магматические комплексы предположительно плюмовой природы на Урале и Пай-Хое. Серым цветом показана схема тектонической зональности Урала (см. рис. 3).

Значки на схеме: 1 – ранне-среднеордовикские рифтовые вулканы, отвечающие пассивной континентальной окраине вулканического типа (Кидрясовский комплекс); 2 – Ордовикско-силурийские вулканы и карбонатиты (Ушатский комплекс); 3 – девонские дайки и вулканы окраины Кольско-Днепровского суперплюма; 4 – ареалы распространения траппов окраины Урало-Сибирского суперплюма и точки отбора изотопно датированных вулканитов. Цифры на схеме: 1–10 – ранне-среднеордовикские рифтовые вулканы и дайки, отвечающие условиям пассивной вулканической окраины (1 – в кидрясовской свите; 2 – в нижнесергинской и козинской свитах Среднего Урала; 3 – габбро-гранитный козлиногорский комплекс; 4 – дайки в грубеской свите и вулканы моллодшорской свиты Полярного Урала; 5 – ультракалиевые базальтоиды хр. Енгане-Пе; 6 – базальтоиды и риолиты Байдаратского района; 7 – базальтоиды самарской свиты; 8 – базальтоиды саргазинской свиты; 9 – субщелочные базальтоиды увельской свиты; 10 – пикритовые порфиры, секущие маячную свиту); 11–16 – субщелочные вулканы и карбонатиты Южного Урала (11 – хр. Бол. Шатак, хр. Машак; 12 – хр. Машак, р. Кузьелга; 13 – Тирлянская мульда; 14 – р. Ушат; 15 – Вишневогорский карбонатитовый комплекс; 16 – Верхнесеребрянский комплекс сиенит-порфиров); 17–28 – девонские вулканы и интрузии (главным образом долеритовые дайки и силлы) на западном склоне Урала (17 – дайка во франских кремнях близ с. Кананикольск; 18 – дайка в вендских отложениях около с. Толпарово; 19 – дайка в инзерской свите около ж/д станции Инзер; 20 – базальты аптечногорской свиты, с. Нижние Серги; 21 – дайка близ ж/д развезда Скальный в Кваркушском антиклинории; 22 – дайка в обнажении “Скалы” на севере Кваркушского антиклинория; 23 – комплекс дифференцированных малых интрузий в верховьях р. Печоры; 24 – долериты хр. Тимаиз; 25 – долериты на р. Щугор; 26 – трахибазальты на р. Пага; расслоенные габбро-долериты: 27 – на горе Сопча-Мыльк; 28 – в районе “Первого участка”); 29–34 – триасовые траппы, риолиты и дайки (29 – в Назарово-Карасевских грабенах; 30 – в Челябинском грабене (туринская свита); 31–32 – траппы, риолиты и долеритовые дайки к востоку от г. Каменск-Уральский (Борисовский и Першинский карьеры); 33 – Северо-Сосьвинский грабен (триасовые базальты в керне скважин); 34 – Даниловский грабен (триасовые базальты и риолиты в керне скважин)); 35 – ареал развития триасовых траппов в Полярном Приуралье; точка отбора образцов для датирования – р. Хальмер-Ю.

Fig. 5. Paleozoic and Traissic magmatic complexes probably plume nature in the Urals and Pai-Khoy. A scheme of tectonic zonation of the Urals is shown in grey (see Fig. 3).

Symbols on scheme: 1 – Early and Middle Ordovician rift volcanics corresponding to passive continental margin of a volcanic type; 2 – Ordovician-Silurian volcanics and carbonatites (Ushat complex); 3 – Devonian dikes, sills and volcanics of the marginal zone of the Kola-Dniepr superplume; 4 – areas of Triassic flood basalts of the margin of the Ural-Siberian superplume and sampling points of isotope-dated volcanics in them. The numbers in the scheme: 1–10 – Early and Middle Ordovician rift volcanics corresponding to passive continental margin of a volcanic type



(1 – in the Kidryas Formation; 2 – in the Nizhnie Sergi and Kozinskaya Formations of the Middle Urals; 3 – gabbro-granite Kozlinogorsk complex of the Middle Urals; 4 – Dikes in the Gurbeyu Formation and volcanics of the Moliudshor Formation of the Polar Urals; 5 – Ultra-potassic basalts of the Engane-Pe Range; 6 – basaltoids and rhyolites of the Baydarata area; 7 – basaltoids of the Samarsk Formation; 8 – basaltoids of the Sagrazy Formation; 9 – subalkaline basaltoids of the Uvelka Formation; 10 – picrite porphyrites cutting the Mayachnaya Formation); 11–16 – subalkaline volcanics and carbonatites of the Southern Urals (11 – Bol. Shatak and Mashak Ranges; 12 – Mashak Range, Kus'elga river; 13 – Tirlyan syncline; 14 – Ushat river; 15 – Vishnevogorsk carbonatite complex; 16 – Verkhneserebryanka complex, syenite-porphry); 17–28 – Devonian volcanics and intrusions (mostly dolerite dikes and sills) at the western slope of the Urals (17 – dike in the Frasnian cherts near Rananikolsk village; 18 – dike in the Vendian deposits near Tolparovo village; 19 – dike in the Inzer Formation near the railway station of Inzer; 20 – basalts of the Aptechnogorsk Formation; 21 – dike near the railway stop Skalny in the north of the Kvarkush anticlinorium; 22 – dike into “Skaly” outcrop on the North of Kvarkush anticlinorium; 23 – a complex of differentiated small intrusions in the upper reaches of Pechora river; 24 – dolerites of Timaiz Range; 25 – dolerites of Shchugor river; 26 – trachybasalts of Paga river. Layered gabbro-dolerites: 27 – in Sopcha-Mylk Mnt.; 28 – in the Pervyi Uchastok prospecting site); 29–34 – Triassic flood basalts, rhyolites and dikes (29 – in the Nazarovo-Karasevsk grabens; 30 – in the Chelyabinsk graben (Turinsk Formation); 31–32 – basalts, rhyolites and dolerite dikes to the East of Kamensk Uralski town (Borisovsk and Pershino quarries); 33 – Severo-Sosvinsky graben; 34 – Danilovsky graben (basalts and rhyolites in cores of boreholes)); 35 – area of development of Triassic basalts in the Polar Cis-Urals; the sampling points here are at Khalmeryu river.

с субщелочными базальтоидами. В районе сочленения Уфалейского и Башкирского антиклинориев сравнительно недавно привлек внимание козлингорский комплекс габбро, сиенитов и умереннощелочных гранитов, также датированный ранним ордовиком [Tevelev et al., 2015]. На Среднем Урале, в основании разреза батиальных толщ Бардымского аллохтона, залегает нижнесергинская свита, представленная вулканическими туфами, базальтами, глинистыми сланцами, песчаниками и известняками среднего ордовика. Восточнее, вблизи зоны ГУР, к ордовикским рифтовым формациям предположительно отнесены козинская и колпаковская свиты – мощные (до 3000 м) толщи кварцито-песчаников и конгломератов с прослоями мраморов, туфов, базальтов, трахибазальтов и изредка риолитов. На юге Приполярного Урала к рифтовым формациям, возможно, относится саранхапнерская свита с ассоциирующим с ней комплексом долеритовых даек. Вблизи основания тельпосской, молюдшорской, погурейской терригенных формаций позднего кембрия-ордовика залегают субщелочные вулканиды и дайки рифтогенного характера [Пучков, 1979; Соболева и др., 2010].

Севернее, на крайней оконечности Полярного Урала, в Байдаратской зоне, кембрийско(?)-

тремадокские отложения представлены песчаниками, алевролитами и сланцами; они перекрыты ниже-среднеордовикской толщей пестрого состава, представленной известняками, сланцами, алевролитами, с базальтами, трахибазальтами и риолитами [Puchkov, 2002 и ссылки в этой работе]. На восточном склоне Урала отмечается несколько мест [Пучков, 2010], где развиты ордовикские грабеновые фации (самарский, увельский, тогузакаятский, маячный, саргазинский комплексы); все они располагаются здесь в пределах предположительного развития блоков докембрийской коры и тяготеют к Восточно-Уральской мегазоне. Химизм базальтоидов этих комплексов указывает на заложение рифтов на континентальном основании [Сначев и др., 2006].

Определенный интерес представляет вопрос: а где же вторая половинка грабена, из которого затем развился Уральский океан? М.Д. Булгаковой [1991] описан процесс рождения вулканической пассивной окраины Сибирского континента в раннем-среднем ордовике на примере структур восточного окаймления Сибирской платформы. Поскольку по палеомагнитным данным в ордовике Сибирский континент располагался по отношению к его современному положению “вверх ногами”, возможна палеоконтинентальная реконструкция, согласно которой палеоконтиненты Балтика и Сибирия будут расположены своими раннеордовикскими рифтогенными окраинами друг напротив друга, как это показано в кандидатской диссертации В.И. Павермана [2015]. Это позволяет предполагать образование в раннем ордовике единой КМП и воздействие единого суперплюма на раскалывающийся континент или на сближенные континенты.

7. Позднеордовикско-силурийский магматический комплекс

Конкордантные U-Pb (SHRIMP) датировки цирконов получены для субщелочных базальтоидов, залегающих в поле развития айской свиты, среди аршинской серии в Тирлянкой мульде, вблизи машакской свиты на р. Кузьелга и на хр. Бол. Шатак (см. рис. 5). Все датировки укладываются в узкий интервал 435–455 млн лет (конец ордовика–лландовери) [Пучков и др., 2011]. Первоначально мы считали, что это дайки. Однако внимательное изучение обнажений на р. Ушат показало, что ордовик-силурийские датировки принадлежат вулканидам, что имеет огромное значение для картирования: под этими вулканидами должен быть глубочайший размыв. Раньше к близкому выводу приходили В.И. Ленных и В.И. Петров [1974], однако им не поверили, поскольку это было интуитивное предположение, не подтвержденное фактами. Полученные нами данные позволяют предполагать,

что вблизи полей развития древних вулканитов залегают нераспознанные (вследствие плохой обнаженности) более молодые вулканиты, датируемые примерно границей ордовика и силура. На западном склоне Среднего Урала этот магматический этап проявился в качестве сиенит-порфиров верхне-серебрянского комплекса (возраст – 447 ± 8 млн лет U-Pb, цирконы, SHRIMP [Петров, 2006]). 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 с миаскитами (410–446 млн лет), испытавшего затем преобразования на коллизионных рубежах позднего девона и перми [Nedosekova et al., 2013 и ссылки в этой работе]. 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 Североамериканского континента.

8. Девонский магматизм

Новый обзор геологических данных и изотопных определений возраста долеритовых даек и вулканических излияний на всем протяжении Урало-Новоземельской складчатой области (см. рис. 5, 6) указывает на наличие в ней девонских дайковых роев и связанных с ним эффузивов [Пучков, 2012, 2013; Puchkov et al., 2016]. Один из этих роев имеет субмеридиональное простирание и связан с несколькими пульсами магматизма (в том числе с верхнедевонским) в пределах пассивной окраины Восточно-Европейского континента (точнее, Лавруссии). Второй выявляется на Пай-Хое, имеет по U-Pb определениям циркона (SHRIMP) франско-фаменский возраст и северо-западное простирание. Третья область базальтового вулканизма (палеонтологически датированные базальтовые излияния среднедевонско-раннефранского возраста) широко представлены на Новой Земле. Все эти магматические проявления на период их формирования принадлежали восточному флангу Кольско-Днепровской КМП (LIP) предположительно с двумя центрами суперплюмовой активности (в районе Каспия и в Баренцевом море, к СЗ от Югорского полуострова). Корреляция проявлений Кольско-Днепровского и Якутско-Вилуйского суперплюмов, максимум активности которых падает на верхний девон, позволяет оконтурить еще более крупную область активной девонской зоны в пределах проекции супервелла Тузо (Африканского) на земную поверхность [Puchkov et al., 2016].

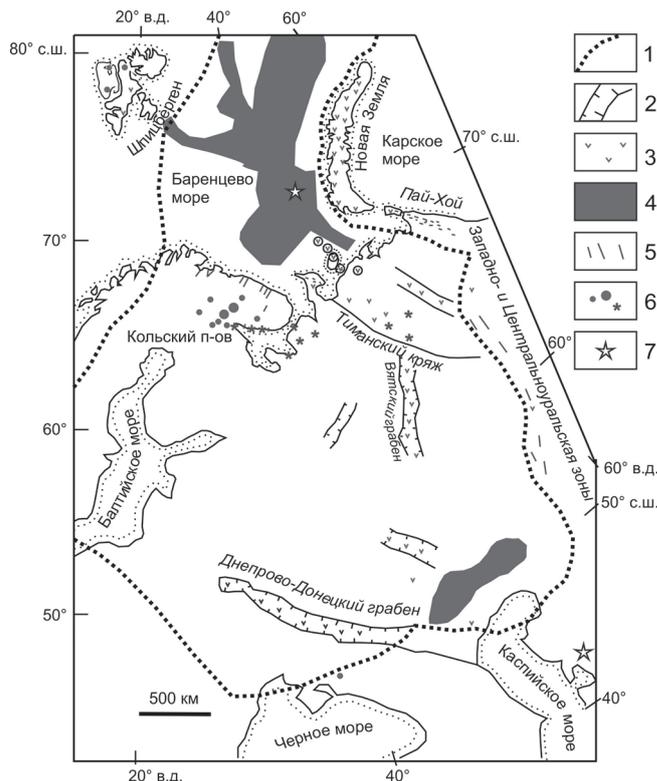


Рис. 6. Девонские дайковые комплексы Урала, Пай-Хоя и Новой Земли в контексте Кольско-Днепровской LIP.

1 – граница докембрийской платформы и окружающих палеозойских складчатых поясов; 2 – девонские грабены; 3 – девонские базальты (в кружочках – вскрытые скважинами); 4 – предполагаемые системы девонских грабенов с сильно редуцированной мощностью консолидированной коры под глубокими осадочными бассейнами; 5 – девонские дайки и силлы; 6 – девонские щелочные и карбонатитовые интрузивные комплексы (точки) и кимберлиты (звездочки); 7 – предполагаемые плюмовые центры [Puchkov et al., 2016, и ссылки в этой работе].

Fig. 6. The Devonian dike complexes of the Urals, Paj-Khoy and Novaya Zemlya in the context of the Kola-Dniepr LIP.

1 – the boundary of the Precambrian platform and surrounding Phanerozoic belts; 2 – Devonian grabens; 3 – Devonian basalts (symbols in circles for basalts, encountered in wells); 4 – inferred systems of Devonian grabens with a reduced thickness of consolidated crust under deep sedimentary basins; 5 – Devonian dikes and sills; 6 – Devonian alkaline and carbonatite intrusive complexes (yellow dots) and kimberlites (green asterisks); 7 – suggested plume centres [Puchkov et al., 2016, and references therein].

9. Пермский магматизм

В северной части Южного Урала расположены Степнинский, Бирюковский, Вандышевский и Уйский гранитные массивы, образующие цепочку интрузивных тел, секущую общепермские субмери-

диональные структуры (Кочкарско-Адамовскую, Арамильско-Сухтелинскую и Уйско-Оренбургскую зоны) и протягивающуюся соответственно с юго-востока на северо-запад [Сначев и др., 2006]. На основе данных изучения расплавных и газовой-жидких включений в кварце гранитоидов установлено последовательное уменьшение глубины кристаллизации пород в указанном ряду в СЗ направлении от гипабиссальной до гипабиссально-приповерхностной фации. Массивы относятся к степнинскому монцодиорит-гранитному комплексу многофазного, субконцентрического строения. Степнинский массив – типовой в этой цепочке – подробно описан Г.Б. Ферштатером [2013]. Возраст массивов составляет приблизительно 283 млн лет, т.е. приходится на конец орогенического этапа; цепочка гранитоидов наложилась на уже сформированную покровную структуру, что может указывать, наряду с геохимическими особенностями, на внутриплитный характер магматизма. Материалов для установления возрастной прогрессии пока недостаточно.

10. Триасовый магматизм

Крупная триасовая магматическая провинция (LIP), к которой частично принадлежит территория Урало-Новоземельской складчатой зоны, охватывает огромную область, включая Западно-Сибирскую плиту, Таймыр, Кузбасс и Сибирскую платформу, и эту провинцию следует называть Урало-Сибирской (см. рис. 5, 7). Магматические события на границе перми и триаса можно рассматривать как проявления гигантского суперплюма. На Урале и в Приуралье к ним относятся излияния трапповых базальтов триасового возраста, развитые в Тургае, Челябинском районе Южного Урала, в карьерах и обнажениях к востоку от г. Каменск-Уральского, в Сосьвинском и Даниловском грабенах, на западном склоне Полярного Урала и смежной части Восточно-Европейской платформы, а также отдельные проявления триасового магматизма на Пай-Хое и Новой Земле. Наши исследования совместно с геологами университета г. Лейстер (Англия) и ИГ КНЦ РАН показали, что трапповые излияния на Полярном Урале и в Сибири начались синхронно на границе перми и триаса (250 млн лет назад). Так, базальты, развитые в районе р. Хальмер-Ю, к северо-западу от Воркуты в основании вулканогенно-терригенной серии, датируются Ar-Ar методом 249.52 ± 0.7 млн лет [Reichow et al., 2009]. На юго-востоке региона, в Зауральской зоне, риолиты Першинского и Борисовского карьеров датированы U-Pb методом по цирконам – около 250 млн лет; риолиты Борисовского карьера рвутся серией долеритовых даек с Ar-Ag возрастом 245.9 ± 2.4 млн лет. Примерно такова же Ar-Ag датировка базальтов туринской серии на берегу р. Синары (244.9 ± 1.2 млн лет) [Reichow et al.,

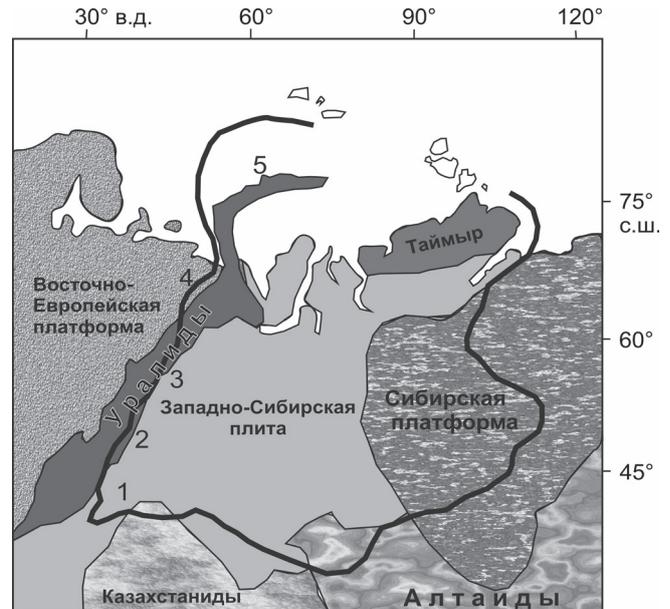


Рис. 7. Границы Урало-Сибирской КМП (жирная линия).

Районы развития триасового магматизма на структурах Урала: 1 – Тургайский грабен, 2 – Челябинский и Каменско-Уральские грабены (Борисовский и Першинский карьеры), 3 – Сосьвинский и Даниловский грабены, 4 – Косью-Роговская и Коротаихинская впадины Предуралья и смежная часть Восточно-Европейской платформы, 5 – Новая Земля.

Fig. 7. Boundaries of the Urals-Siberian LIP (thick line).

The areas of development of the Triassic magmatism on the structures of the Urals: 1 – Turgay graben, 2 – Chelyabinsk and Kamensk-Uralsk grabens (Borisovo and Pershino quarries), 3 – Sosva and Danilovo grabens, 4 – Kosyu-Rogovskaya and Korotaikha depressions and adjacent part of the East European platform, 5 – Novaya Zemlya fold belt.

2009]. Базальты Назарово-Карасевского грабена Зауралья, к востоку от Челябинского грабена, датированы Ar-Ag методом 243.32 ± 0.57 млн лет. Базальты, развитые в Сосьвинском и Даниловском грабенах, на краю Западно-Сибирского бассейна, перекрывают восточные структурные зоны погребенной части Урала, и их триасовый возраст надежно доказан как изотопными методами, так и палеонтологическими (палинологическими) данными [Иванов и др., 2016]. Вместе с тем триасовые Rb-Sr датировки некоторых кислых интрузий Среднего и Южного Урала (например, для чекинского и адуйского щелочных комплексов) вступают в противоречие с U-Pb датировками цирконов [Тевелев и др., 2009]. По нашим данным [Салихов и др., 2013], дайки гранито-порфиров, секущих Чекинский массив, имеют каменноугольный возраст по результатам и Rb-Sr, и U-Pb датирования и к описываемому суперплюму не имеют отношения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, следует сказать, что мы можем в пределах Урала, с разной степенью вероятности, указать десяток возрастных уровней проявления плюмовой и суперплюмовой магматической активности: навьшский – 1750 млн лет, машакский – 1380 млн лет, аршинский 706–735 млн лет, кирябинский 680 млн лет, маньхамбовский 540–485 млн лет, ранне-среднеордовикский кидрясовский – 475–460 млн лет, позднеордовикский–раннесилурийский ушатский – 440–450 млн лет, средне-верхнедевонский Кольско-Днепровский – 390–370 млн лет, пермский степнинский 280–285 млн лет и триасовый Урало-Сибирский 250–230 млн лет. Они неодинаковы по составу магматических проявлений и по-разному соотносятся с плейт-тектоническими структурами и процессами. Первые четыре (докембрийские), вероятно, так или иначе связаны с распадом суперконтинентов Нуна и Родиния. Пятый, маньхамбовский, частично накладывается и непосредственно следует за коллизионными процессами, приведшими к аккреции континента Балтики и образованию тиманида. Шестой, кидрясовский, эпизод увязывается с разрушением приращенного тиманидами континента и образованием его вулканической пассивной окраины и Уральского океана. Седьмой, ушатский, возможно, принадлежал индивидуальному плюму, след которого смещался с континентальной окраины в Уральский океан. Восьмой, среднепозднедевонский, являлся небольшой частью территории проявления суперплюмовой активности, охватывавшей Кольско-Днепровскую и Якутско-Вилуйскую провинции. Девятый, степнинский, может принадлежать индивидуальному плюму с возрастной прогрессией (которую, впрочем, еще предстоит доказать), и который накладывается на коллизионную структуру уралид. Наконец, триасовые вулканы Урала принадлежат западному краю обширного Урало-Сибирского суперплюма, распространявшегося также на территории Западной и Центральной Сибири, Таймыра, Кузбасса и носившего ярко выраженный внутриплитный характер.

С плюмами на Урале связан целый спектр полезных ископаемых [Puchkov, 2017a, b].

Автор выражает благодарность академику РАН М.И. Кузьмину за конструктивную дискуссию.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, Проект № 16-17-10192.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Богданова С.В., Писаревский С.А., Ли Ч.Х. (2009) Образование и распад Родинии (по результатам МПГК

- 440). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 17(3), 29-45.
- Булгакова М.Д. (1991) Ранний палеозой Северо-Востока СССР (седиментологический анализ). Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 104 с.
- Вахрушева Н.В. (2012) Щелочные ультрамафиты дайковой серии в дунит-гарцбургитовом комплексе Наранского массива (Монголия). “Современные проблемы магматизма и метаморфизма”. Мат-лы Всерос. конф., посвящ. 150-летию академика Ф.Ю. Левинсона-Лессинга и 100-летию профессора Г.М. Саранчиной. Т. 1. СПб.: Изд-во СПб ГУ, 109-113.
- Горожанин В.М. (2009) Rb-Sr датирование неопротерозойских вулканитов по поствулканическому седламенту: скв. Кипчак-1, Серноводско-Абдулинский авлакоген. “Изотопные системы и время геологических процессов”. Мат-лы IV Всерос. конф. по изотопной геохронологии. СПб.: ИГД РАН, 145-147.
- Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. (1983) Внутриплитовый вулканизм и его значение для понимания процессов в мантии Земли. *Геотектоника*, (1), 28-45.
- Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Ерохин Ю.В., Пономарев В.С. (2016) Геологическое строение фундамента Приуральской части Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН; КогалымНИПИнефть, 302 с.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Бушарина С.В., Сергеева Н.Д., Падерин И.П. (2013б) Цирконовая геохронология машакских вулканитов и проблема возраста границы нижний-средний рифей (Южный Урал). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 21(5), 3-20.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Ларионов А.Н., Нехорошева А.Г., Бережная Н.Г. (2007) О возрасте Барангуловского габбро-гранитного комплекса Южного Урала. *Геол. сборник № 6*. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 7-16.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. (2012) Новые данные по цирконовой геохронологии аршинских вулканитов (Южный Урал). *Литосфера*, (4), 127-140.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В., Лепехина Е.Н. (2013а) Цирконология навьшских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале. *Докл. АН*, 448(4), 437-442.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д. (2013в) Цирконология пироксенитов Кирябинского пироксенит-габбрового комплекса (Южный Урал). *Докл. АН*, 450(2), 204-208.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. (2015) U-Pb SHRIMP возраст гранитов и субстрата Мазаринского массива (Южный Урал) по цирконам *Докл. АН*, 463(2), 206-212.
- Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В. (2017) Биография Земли: основные этапы геологического прошлого *Природа*, (6), 12-25.
- Ленных В.И., Петров В.И. (1974) О калиевых щелочных базальтоидах в обрамлении тараташского комплекса. *Вулканизм Южного Урала*. Тр. Ильменского Заповедника. Вып. XII, 146-164.
- Меланхолина Е.Н. (2011) Сравнительный анализ пассивных окраин в пределах Северной и Центральной Атлантики. *Геотектоника*, (4), 80-105.
- Носова А.А., Ларионова Ю.О., Веретенникова Н.В., Ют-

- кина Е.В. (2008) Корреляция неопротерозойского вулканизма Юго-Восточного Беломорья и Западного Урала: новые данные об изотопном возрасте базальтов Солозера (Онежский грабен). *Докл. АН*, **418**(6), 811-816.
- Паверман В.И. (2015) Палеомагнетизм среднего палеозоя юга Сибирской платформы: геодинамические выводы. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 21 с.
- Петров Г.А., Маслов А.В., Ронкин Ю.Л. (2005) Допалеозойские магматические комплексы Кваркушско-Каменногорского антиклинория (Средний Урал): новые данные по геохимии и геодинамике. *Литосфера*, (4), 42-69.
- Петров Г.А. (2006) Геология и минералогия зоны Главного Уральского разлома на Среднем Урале. Екатеринбург: УрГГУ, 195 с.
- Пучков В.Н. (1979) Батильные комплексы пассивных окраин геосинклинальных областей. М.: Наука, 260 с.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
- Пучков В.Н. (2012) Дайковые рои Урала и ассоциирующие с ними магматические комплексы. *Геотектоника*, (1), 42-52.
- Пучков В.Н. (2013) Плюмы в истории Урала. *Бюлл. МОИП. Отд. геол.*, (4), 64-73.
- Пучков В.Н. (2016) Взаимосвязь плитотектонических и плюмовых процессов. *Геотектоника*, (4), 88-104.
- Пучков В.Н., Ковалев С.Г. (2013) Плюмовые события на Урале и их связь с субглобальными эпохами рифтогенеза. "Континентальный рифтогенез и сопутствующие процессы". Мат-лы Второго Всерос. симпозиума с междунар. участием и молодеж. науч. школы, посвящ. памяти академиков Н.А. Лигачева и Е.Е. Милановского. Иркутск: ИЗК СО РАН, Иркутский госуниверситет, 34-37.
- Пучков В.Н., Козлов В.И., Краснобаев А.А. (2011). Палеозойские U-Pb SHRIMP датировки магматических пород Башкирского Мегантиклинория. *Геол. сборник ИГ УНЦ РАН*, **9**, 36-43.
- Салихов Д.Н., Мосейчук В.М., Пучков В.Н., Андричев В.Л., Баянова Т.Б. (2013) О возрасте щелочных гранитоидов Магнитогорской габбро-гранитной интрузивной серии. *Литосфера*, (5), 165-171.
- Сначев А.В., Пучков В.Н., Савельев Д.Е., Сначев В.И. (2006) Геология Арамилско-Сухтелинской зоны Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 176 с.
- Соболева А.А., Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Васильев А.В. (2010) Зеленые сланцы Лемвинской зоны. *Вестн. ИГ КНЦ РАН*, (1), Сыктывкар, 14-20.
- Тевелев Ал.В., Кошелева И.А., Фурина М.А., Беляцкий Б.В. (2009) Триасовый магматизм Южного Урала: геохимия, изотопия, геодинамика. *Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология*, (2), 29-38.
- Ферштатер Г.Б. (2013) Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 368 с.
- Холоднов В.В., Шагалов Е.С., Носова А.А. (2014) Редкометалльное месторождение Сибирка: новые данные о возрастных этапах и условиях формирования. *Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана*. Мат-лы X Межрегион. конф. Уфа, ДизайнПресс, 202-204.
- Холоднов В.В., Ферштатер Г.Б., Шагалов Е.С., Шардакова Г.Ю. (2017) Рифейский магматизм и рудообразование, предшествующие раскрытию Уральского палеоокеана (западный склон Южного Урала) *Литосфера*, **17**(2), 5-26.
- Andreichev V.L., Soboleva A.A., Udoratina O.V., Coble M.A., Miller E.L (2017) Rb-Sr and U-Pb Isotope-Geochronology Systems in Granitoids of Northern Timan. *Granites and the Earth's Evolution: the Mantle and the Crust in Granite Origin*. Proc. 3rd International Geological Conference. IGG UrO RAN Publ. Ekaterinburg, Russia. 21-22.
- Dziewonski A.M. (1984) Mapping the lower mantle: determination of lateral heterogeneity in P velocity up to degree and order 6. *J. Geophys. Res.*, **89**(B7), 5920-5952.
- El Bahat A., Ikenne M., Söderlund U., Cousens B., Youbi N., Ernst R., Soulaïmani A., El Janati M., Hafid A. (2013) U-Pb baddeleyite ages and geochemistry of dolerite dykes in the Bas Drâa Inlier of the Anti-Atlas of Morocco: Newly identified 1380 Ma event in the West African Craton. *Lithos*, **174**, 85-98.
- Ernst R.E. (2014) Large Igneous Provinces. Cambridge University Press, 633 p.
- Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Hamilton M. (2006) Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia. *Geological Digest No 5. Geol. Institute of the Ufimian scientific centre of RAS*. Ufa: DesignPoligraph-Service, 119-161.
- Morgan W.J. (1971) Convective Plumes in the Lower Mantle. *Nature*, **230**, 42-43.
- Nedosekova I.L., Belousova E.A., Sharygin V.V., Belyatsky B.V., Bayanova T.B. (2013) Origin and evolution of the Ilmeny-Vishnevogorsky carbonatites (Urals, Russia): insights from trace-element compositions, and Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb, Lu-Hf isotope data *Mineral. Petrol.*, **107**(1), 101-123.
- Puchkov V. (2002) Paleozoic evolution of the East European continental margin involved into the Urals. *Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present* (D. Brown, C. Juhlin, V. Puchkov (eds.)). AGU Geophysical Monograph Series, **132**, 9-32.
- Puchkov V.N. (2016) Magmatic complexes of the Urals as suspect parts of Large Igneous Provinces. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science **44**, 1-6. doi:10.1088/1755-1315/44/2/022003
- Puchkov V.N. (2017a) Plume complexes of the Urals and their metallogenic potential. *Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits*. Proc. of XXXIV Internat. Conf. Miass, IMin UrO RAN, 187-191.
- Puchkov V.N. (2017b) General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why. *Ore Geol. Rev.*, **85**, doi:10.1016/j.oregeorev.2016.01.005
- Puchkov V.N. (2017c) The Plume-Dependent Granite-Rhyolite Magmatism (Tectonic Aspects of the Problem) *Granites and the Earth's Evolution: the Mantle and the Crust in Granite Origin*. Proc. 3rd International Geol. Conf. IGG UrO RAN Publ. Ekaterinburg, Russia. 230-232.
- Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R., Kozlov V.I., Krasnobayev A.A., Söderlund U., Vingate M. T.D., Postnikov A.V., Sergeeva N.D. (2013) The ca. 1380 Ma

- Mashak igneous event of the Southern Urals. *Lithos*, **174**, 109-124.
- Puchkov V.N., Ernst R.E., Hamilton M.A., Söderlund U., Sergeeva N. (2016) 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 J.*, **138**(1), 6-16. doi.org/10.1080/11035897
- Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Sergeeva N.D. (2014) The New Data on Stratigraphy of the Riphean Stratotype in the Southern Urals, Russia. *J. Geosci. Environ. Protect.*, (2) 108-116. http://dx.doi.org/10.4236/gep.2014.23015
- Reichow M.K., Saunders A.D., Pringle M.S., Al'Mukhamedov A.I., Medvedev A.Ya., Allen M.B., Andreichev V.L., Buslov M.M., Fedoseev G.S., Safonova I.Yu., Davies C.E., Fitton J.G., Inger S., Mitchell C., Puchkov V.N., Scott R.A. (2009) 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.*, **277**(1–2), 9-20.
- Tevelev A.I., Koshcheva I.A., Khotylev A.O., Prudnikov I.A., Tevelev Ark.V. (2015) The Data on the Composition and Age of the Kozlinogorsk Gabbro-Alkaline Granite Complex on the Western Slope of the Southern Urals. *Mosc. Univers. Geol. Bull.*, **70**(4), 338-349.
- Udoratina O.V., Andreichev V.L., Kapitanova V.A., Coble M.A., Geng J.Z. (2017) Granites of Mankhambo and Ilyaiz Massifs and Rare Metal Rocks of Mankhambo Massif (Northern Urals). *Granites and the Earth's Evolution: the Mantle and the Crust in Granite Origin*. Proc. of the 3rd International Geological Conference. IGG UrO RAN Publ. Ekaterinburg, Russia, 300-303.
- Wilson J.T. (1963) A possible origin of Hawaiian islands. *Can. J. Phys.*, **41**, 863-866.
- Yarmolyuk V.V., Kuzmin M.I., Ernst R.E. (2014) Intraplate geodynamics and magmatism in the evolution of the Central Asian Orogenic Belt. *J. Asian Earth Sci.*, **93**(01), 158-179.
- Youbi N., Kouyaté D., Söderlund U., Ernst R., Soulaïmani F., Hafid A., Ikenne M., El Bahat A., Bertrand H., Chaham K.R., Abbou M.B., Mortaji A., El Chorfi M., Zouhair M., El Janati M. (2013) The 1750 Ma Magmatic Event of the West African Craton (Anti-Atlas, Morocco). *Precamb. Res.*, **236**, 106-123.
- gree and order 6. *J. Geophys. Res.*, **89**(B7), 5920-5952.
- El Bahat A., Ikenne M., Söderlund U., Cousens B., Youbi N., Ernst R., Soulaïmani A., El Janati M., Hafid A. (2013) U-Pb baddeleyite ages and geochemistry of dolerite dykes in the Bas Drâa Inlier of the Anti-Atlas of Morocco: Newly identified 1380 Ma event in the West African Craton. *Lithos*, **174**, 85-98.
- Ernst R.E. (2014) Large Igneous Provinces. Cambridge University Press, 633 p.
- Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Hamilton M. (2006) Geochemical Characterization of Precambrian magmatic suites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia. *Geological Digest No 5 / Geol. Institute of the Ufimian scientific centre of RAS*. Ufa: DesignPoligraphService, 119-161.
- Fershtater G.B. (2013) *Paleozoiskii intruzivnyi magmatizm Srednego i Yuzhnogo Urala* [Paleozoic intrusive magmatism of the Southern and Middle Urals]. Ekaterinburg, Editorial Department, Uralian Branch of RAS, 368 p. (In Russian)
- Gorozhanin V.M. (2009) Rb-Sr dating of Neoproterozoic volcanics after post-volcanic seladonite: Kipchak-1 borehole, Sernovodsk-Abdulino avlakogen. "Izotopnye sistemy i vremya geologicheskikh protsessov". Mat. IV Vses. Konf. po izotopnoi geokhronologii ["Isotopic systems and time of geologic processes". Proc. of the IVth All-Russian Conf. on isotopic geochronology]. St.Petersburg, IGD RAN, 145-147. (In Russian)
- Holodnov V.V., Fershtater G.B., Shagalov E.S., Shardakova G.Yu. (2017) The Riphean magmatism and ore formation, preceding the opening of the Uralian paleocean (the western slope of the Southern Urals). *Litosfera*, **17**(2), 5-26. (In Russian)
- Holodnov V.V., Shagalov E.S., Nosova A.A. (2014) Rare-metal deposit Sibirka: new data on the age stages and conditions of formation. "Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geoekologii Bashkortostana". Materialy X mezhregional'noi conf. ["Geology, raw materials and problems of geo-environment of Bashkortostan". Materials of the Xth Interregional Conference]. Ufa, Dizain-Press Publ., 202-204. (In Russian)
- Ivanov K.S., Fedorov Yu.N., Erokhin Yu.V., Ponomarev V.S. (2016) *Geologicheskoe stroenie fundamenta Priural'skoi chasti Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo megabasseina* [Geological structure of basement of the Cis-Uralian part of the West Siberian oil and gas-bearing magabasin]. Ekaterinburg, IGG UrO RAS and KogalymNIPI-neft Publ., 302 p. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Busharina S.V., Sergeeva N.D., Paderin I.P. (2013) Zircon geochronology of Mashak volcanics and the problem of the age of the boundary between the Lower and Middle Riphean (Southern Urals)]. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **21**(5), 3-20. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Larionov A.N., Nekhorosheva A.G., Berezhnaya N.G. (2007) On the age of Barangulovo gabbro-granite complex, Southern Urals. *Geol. Sbornik No 6*. Ufa, IG USC RAS, 7-16. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V. (2012) New data on the zircon geochronology of the Arshinian volcanics (Southern Urals). *Litosfera*, (4), 127-140. (In Russian)

REFERENCES

- Andreichev V.L., Soboleva A.A., Udoratina O.V., Coble M.A., Miller E.L. (2017) Rb-Sr and U-Pb Isotope-Geochronology Systems in Granitoids of Northern Timan. *Granites and the Earth's Evolution: the Mantle and the Crust in Granite Origin*. Proc. 3rd International Geological Conference. IGG UrO RAN Publ. Ekaterinburg, Russia. P. 21-22.
- Bogdanova S.V., Pisarevsky S.A., Li Ch. X. (2009). Formation and break-up of Rodinia (after the results of IGCP-440). *Stratigr. Geol. Korrel.*, **17**(3), 29-45. (In Russian)
- Bulgakova M.D. (1991) *Rannii paleosoi Severo-Vostoka SSSR (sedimentologicheskii analiz)* [Early Paleozoic of the North-East of USSR (sedimentologic analysis)]. Yakutsk, YaNTs SO AN SSSR, 104 p. (In Russian)
- Dziewonski A.M. (1984) Mapping the lower mantle: determination of lateral heterogeneity in P velocity up to de-

- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V., Lepekina E.N. (2013a) Zirkonology of the Navysh volcanics of the Ai Formation and the problem of the age of the Lower boundary of the Riphean in the Southern Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **448**(4), 437-442. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D. (2013b) Zirkonology of pyroxenites of the Kiryabinka pyroxenite-gabbro complex (Southern Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **540**(2), 204-208. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V. (2015) U-Pb SHRIMP age of granites and substrate of the Mazara massif (Southern Urals) after zircons. *Dokl. Akad. Nauk*, **463**(2), 206-212. (In Russian)
- Kuzmin M.I., Yarmolyuk V.V. (2017) Biography of the Earth: the main stages of geological Past. *Priroda*, (6), 12-25. (In Russian)
- Lennykh V.I., Petrov V.I. (1974) On Potassic alkaline basalts in the vicinity of the Taratash complex. *Vulkanizm Yuzhnogo Urala. Trudy Ilmenskogo zapovednika. Vyp. XII [Volcanism of the Southern Urals. Proc. of the Ilmeny State reserve, V. XII]*. 146-164. (In Russian)
- Melankholina E.N. (2011) A comparative analysis of passive margins in the Northern and Central Atlantic. *Geotektonika*, (4), 80-105. (In Russian)
- Morgan W.J. (1971) Convective Plumes in the Lower Mantle. *Nature*, **230**, 42-43.
- Nedosekova I.L., Belousova E.A., Sharygin V.V., Belyatsky B.V., Bayanova T.B. (2013) Origin and evolution of the Ilmeny-Vishnevogorsky carbonatites (Urals, Russia): insights from trace-element compositions, and Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb, Lu-Hf isotope data. *Mineral. Petrol.*, **107**(1), 101-123.
- Nosova A.A., Larionova Yu.Yu., Veretennikova N.V., Yutkina E.V. (2008) Correlation of Neoproterozoic volcanism of the South-Eastern Belomorie and Western Urals: new data on isotopic age of basalts of the Solozero (Onega graben). *Dokl. Akad. Nauk*, **418**(6), 811-816. (In Russian)
- Paverman V.I. (2015) *Paleomagnetizm srednego Paleozoya yuga Sibirskoi platformy: geodinamicheskie vyvody*. Dis. ... kand. geol.-min. nauk [Paleomagnetism of the Middle Paleozoic of the southern part of Siberian platform: geodynamic consequences. Cand. geol. and min. sci. diss.]. Moscow, 21 p. (In Russian)
- Petrov G.A. (2006) *Geologiya i mineralogiya zony Glavnogo Uralskogo razloma na Srednem Urale* [Geology and mineralogy of the Main Uralian Fault in the Southern Urals]. Ekaterinburg, Uralian State Mining University Publ., 195 p. (In Russian)
- Petrov G.A., Maslov A.V., Ronkin Yu.L. (2005) Pre-Paleozoic magmatic complexes of the Kvarkush-Kamennogorsk anticlinorium (Middle Urals): new data on geochemistry and geodynamics. *Litosfera*, (4), 42-69. (In Russian)
- Puchkov V.N. (1979) *Batial'nye komplekxy passivnykh okrain geosinklinal'nykh oblastei* [Batial complexes of passive margins of geosynclinal regions]. Moscow, Nauka Publ., 260 p. (In Russian)
- Puchkov V. (2002) Paleozoic evolution of the East European continental margin involved into the Urals. Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present (D. Brown, C. Juhlin, V. Puchkov (eds.)). *AGU Geophysical Monograph Series*, **132**. 9-32.
- Puchkov V.N. (2010) *Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and Cis-Urals (actual topics of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 280 p. (In Russian)
- Puchkov V.N. (2012) Dike swarms of the Urals and associated with them magmatic complexes. *Geotektonika*, (1), 42-52. (In Russian)
- Puchkov V.N. (2013) Plumas in the history of the Urals. *Bull. MOIP. Geology Section*, (4), 64-73. (In Russian)
- Puchkov V.N. (2016) The relationship between plitotectonic and plume processes. *Geotektonika*, (4), 88-104. (In Russian)
- Puchkov V.N. (2016) Magmatic complexes of the Urals as suspect parts of Large Igneous Provinces. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, **44**, 1-6. doi:10.1088/1755-1315/44/2/022003
- Puchkov V.N. (2017a) Plume complexes of the Urals and their metallogenic potential. *Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits*. Proc. of XXXIV International conference. Miass, IMin UrO RAN, 187-191.
- Puchkov V.N. (2017b) General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why. *Ore Geol. Rev.*, **85**. doi:10.1016/j.oregeorev.2016.01.005
- Puchkov V.N. (2017c) The Plume-Dependent Granite-Rhyolite Magmatism (Tectonic Aspects of the Problem). *Granites and the Earth's Evolution: the Mantle and the Crust in Granite Origin*. Proc. 3rd International Geological Conference. IGG UB RAS Publ. Ekaterinburg, Russia. 230-232.
- Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R., Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., Söderlund U., Vingate M.T.D., Postnikov A.V., Sergeeva N.D. (2013). The ca. 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals. *Lithos*, **174**, 109-124.
- Puchkov V.N., Ernst R.E., Hamilton M.A., Söderlund U., Sergeeva N. (2016) 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 J.*, **138**(1), 6-16. doi.org/10.1080/11035897
- Puchkov V.N., Kovalev S.G. (2013) Plum events in the Urals and their relationship with the subglobal epochs of rifting. "Kontinental'nyi riftogenez i soputstvuyushchie protsessy". Materialy Vtorogo Vserossiiskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem i molodezhnoi nauchnoi shkoly, posvyashchennykh pamyati akademikov N.A. Ligacheva i E.E. Milanovskogo ["Continental Rifting and Related Processes". Proc 2nd All-Russian Symp. with Intern. Particip. the Youth Scientific School, dedicated to the memory of Academicians N.A. Ligachev and E.E. Milanovsky]. Irkutsk, IZK SO RAN and Irkutsk St. Univ. Publ., 34-37. (In Russian)
- Puchkov V.N., Kozlov V.I., Krasnobaev A.A. (2011) Paleozoic U-Pb SHRIMP-dating of magmatic rocks of the Bashkirian meganticlinorium. *Geol. Sbornik*. IG USC RAS, **9**, 36-43. (In Russian)
- Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Sergeeva N.D. (2014) The New Data on Stratigraphy of the Riphean Stratotype in the Southern Urals, Russia. *J. Geosci. Environm. Protect.*, (2), 108-116.
- Reichow M.K., Saunders A.D., Pringle M.S., Al'Mukhamedov A.I., Medvedev A.Ya., Allen M.B., Andreichev V.L., Buslov M.M., Fedoseev G.S., Safono-

- va I.Yu., Davies C.E., Fitton J.G., Inger S., Mitchell C., Puchkov V.N., Scott R.A. (2009) 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.*, **277**(1–2), 9-20.
- Salikhov D.N., Moseichuk V.M., Puchkov V.N., Andreichev V.L., Bayanova T.B. (2013) On the age of alkaline granitoids of the Magnitogorsk gabbro-granite intrusive series. *Litosfera*, (5), 165-171. (In Russian)
- Snachev A.V., Puchkov V.N., Saveliev D.E., Snachev V.I. (2006). *Geologiya Aramilsko-Sukhtelinskoi zony Urala* [Geology of the Aramil-Sukhtelinsk zone of the Urals]. Ufa, DizainPoligraphServis, 176 p. (In Russian)
- Soboleva A.A., Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Vasiliev A.V. (2010) The green schists of the Lemva zone. *Vest. Institute of Geology KNC RAS*, (1), Syktyvkar, 14-20. (In Russian)
- Tevelev Al.V., Kosheleva I.A., Khotylev A.O., Prudnikov I.A., Tevelev Ark.V. (2015) The Data on the Composition and Age of the Kozlinogorsk Gabbro-Alkaline Granite Complex on the Southern Urals Western Slope. *Mosc. Univers. Geol. Bull.*, **70**(4), 338-349. (In Russian)
- Tevelev Al.V., Kosheleva I.A., Furina M.A., Belyatsky B.V. (2009) Triassic magmatism of the Southern Urals: geochemistry, isotopy, geodynamics. *Vest. Mosk. Univ. Ser. 4. Geol.*, (2), 29-38.
- Udoratina O.V., Andreichev V.L., Kapitanova V.A., Coble M.A., Geng J.Z. (2017) Granites of Mankhambo and Ilyaiz Massifs and Rare Metal Rocks of Mankhambo Massif (Northern Urals). *Granites and the Earth's Evolution: the Mantle and the Crust in Granite Origin*. Proc. 3rd Int. Geol. Conf. Ekaterinburg, Russia, 300-303.
- Vakhrusheva N.V. (2012) Alkaline ultramafic rocks of a dyke series in the Naran dunite-harzburgite complex (Mongolia). “*Sovremennye problemy magmatizma i metamorfizma*”. Materialy Vserossiiskoi konferentsii, posvyashchennoi 150-letiyu akademika F.Yu. Levinsona-Lessinga i 100-letiyu professora G.M. Saranchinoi. T. 1 [“Modern problems of magmatism and metamorphism”]. Proc. of All-Russian Conf., dedicated to the 150th anniversary of Academician F.Yu. Levinson-Lessing and the 100th anniversary of Professor G.M. Saranchina. V.1]. St.Petersburg, St. Univ. Publ., 109-113. (In Russian)
- Wilson J.T. (1963) A possible origin of Hawaiian islands. *Can. J. Phys.*, **41**, 863-866.
- Yarmolyuk V.V., Kuzmin M.I., Ernst R.E. (2014) Intraplate geodynamics and magmatism in the evolution of the Central Asian Orogenic Belt. *J. Asian Earth Sci.*, **93**(01), 158-179.
- Youbi N., Kouyaté D., Söderlund U., Ernst R., Soulaymani F., Hafid A., Ikenne M., El Bahat A., Bertrand H., Chaham K.R., Abbou M.B., Mortaji A., El Chorfi M., Zouhair M., El Janati M. (2013) The 1750 Ma Magmatic Event of the West African Craton (Anti-Atlas, Morocco). *Precamb. Res.*, **236**,106-123.
- Zonenshain L.P., Kuzmin M.I. (1983) Interplate magmatism and its importance for understanding the processes in the earth's mantle. *Geotektonika*, (1), 28-45. (In Russian)