

ПЛЮМ-ЗАВИСИМЫЙ ГРАНИТ-РИОЛИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ

© 2018 г. В. Н. Пучков^{1,2}

¹Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа, 450077, ул. К. Маркса, 16/2

²Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15,
e-mail: puchkv@ufaras.ru

Поступила в редакцию 27.06.2018 г.; принята к печати 24.08.2018 г.

Плюм-зависимый магматизм широко распространен, и его существование хорошо обосновано. Его подавляющая по объему часть представлена траппами, базальтами океанических островов (ОИБ), базальтами океанических плато (ОПБ), хотя по составу магматические продукты плюмов очень разнообразны. Заметную роль среди прочих играют кремнекислые магматические породы – риолиты и граниты. Различаются два главных типа плюмов. Первый принадлежит Крупным магматическим провинциям (КМП, или LIP) и, как предполагают, зарождается на границе ядра и мантии в пределах структур, называемых суперсвеллами, которые генерируют гигантские короткоживущие конвективные потоки мантии (апвеллинги), вызывающие обильный магматизм на земной поверхности. Второй тип представлен линейными вулканическими цепями, характеризующимися последовательным изменением возраста (вулканическими цепями с возрастной прогрессией). Их формируют единичные плюмы – тонкие восходящие мантийные потоки, действующие непрерывно в течение более долгих периодов. Показано, что относительный объем кремнекислого магматизма сильно зависит от типа земной коры. Среди трапповых базальтов континентов кремнекислый магматизм обычно присутствует, будучи подчиненным базальтам по объему и принадлежащим бимодальному типу. Однако в некоторых случаях КМП на континентах формируются преимущественно кремнекислыми породами; они получили название на английском языке Silicic LIPS, или SLIPS, перевод может звучать как кремнекислые КМП (ККМП). В океанах КМП являются существенно базальтовыми, без заметного присутствия кремнекислых пород или вообще без них. Вулканические цепи с возрастной прогрессией на континентах редки и, как правило, содержат значительный кремнекислый компонент. В океанах эти цепи чаще всего сложены преимущественно базальтами (типа ОИБ), хотя в верхних частях вулканов присутствуют более кислые и щелочные дифференциаты, но обычно без риолитов и гранитов, кроме случаев присутствия реликтов континентальной коры или аномально толстой мафической коры. Анализ может привести к мысли о значительной роли плавления континентальной коры в формировании плюм-зависимого риолит-гранитного магматизма. Доказательства присутствия плюм-зависимого магматизма в истории Урала представлены сравнительно недавно. Среди плюмовых эпизодов с заметной (риолит)-гранитной компонентой, в частности, выделяются Машакский, 1380–1385 млн лет, Игонинский, 707–732 млн лет, Маньхэмбровский с кембрийскими А-гранитами, ордовикский Кидрясовский, Степнинский габбро-монзонит-гранодиоритовый (пермский) и триасовый Урало-Сибирский суперплюм.

Ключевые слова: риолиты, граниты, плюмы, андерплейтинг, крупные магматические провинции, вулканические цепи с возрастной прогрессией

THE PLUME-DEPENDENT GRANITE-RHYOLITE MAGMATISM

Viktor N. Puchkov^{1,2}

¹Institute of Geology, Ufimian Federal Research Centre of RAS, 16/2 K. Marx st., Ufa, 450077 Russia

²A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry Uralian Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg, 620016 Russia,
e-mail: puchkv@ufaras.ru

Received 27.06.2018, accepted 24.08.2018

The plume-dependent magmatism is widespread and well justified. The bulk of it is represented by flood basalts, basalts of oceanic islands (OIB), and basalts of oceanic plateaus (OPB), though the whole scope of plume magmatism is very diverse. A noticeable role among them is played also by acid (silicic) magmatic rocks – rhyolites and granites. Two main types of plume magmatism are recognized. The first belongs to Large Igneous Provinces (LIP) and is thought to be born at the Core-Mantle boundary within structures, called superswells, that produce giant, short-living mantle upwellings, resulting in abundant volcanism on the Earth's surface. The second type is represented by linear volcanic chains characterized by regular age progressions. They are formed by single plumes – thin ascending mantle flows, acting during longer periods of time. It is shown that the abundance of silicic magmatism strongly depends on the type of the earth's crust. Among flood basalts of continents, silicic magmatism is usually present, subordinate in volume to basalts and belongs to a bimodal type of magmatism. But in some cases LIP in continents are formed predominantly by silicic rocks; they are given the name Silicic

Для цитирования: Пучков В.Н. (2018) Плюм-зависимый гранит-риолитовый магматизм. *Литосфера*, **18**(5), 692–705. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-5-692-705

For citation: Puchkov V.N. (2018) The plume-dependent granite-rhyolite magmatism. *Litosfera*, **18**(5), 692–705. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-5-692-705

LIPS, or SLIPS. In oceans, LIP are fundamentally basaltic with no considerable volume of silicic volcanics, if any. The time-progressive volcanic chains in continents are rare and usually comprise a noticeable silicic component. In oceans, the chains are composed mostly of basalts (OIB type), though in the top parts of volcanoes more acid and alkaline differentiates are present; usually they lack rhyolites and granites, except the cases of a presence of some strips of continental crust or anomalously thick oceanic crust. This review can lead to a thought of an important role of melting of continental crust in formation of plume-dependent rhyolite-granite magmatism. As for the Urals, the proofs for a presence of plume-dependent magmatism in its history were presented only recently. Among the plume episodes, some are characterized by presence of silicic components, in particular: Mashak (1380–1385 Ma), Igonino (707–732 Ma), Man'khambo (mainly Cambrian), Ordovician Kidryasovo, Stepninsky (Permian) and Urals-Siberian (Triassic).

Keywords: rhyolites, granites, plumes, underplating, LIPs, SLIPs, time-progressive volcanic chains

Acknowledgements

The work is supported by the Russian Scientific Foundation, Project No. 16-17-10192.

ВВЕДЕНИЕ

Магматизм, связанный с плюмами, достаточно хорошо изучен. Подавляющая часть его проявлений представлена вулканиками основного состава (траппами и роями долеритовых даек, рассматриваемыми в качестве подводящих каналов; базальтами океанических островов и плато). Однако спектр магматических проявлений, связанных с плюмами, чрезвычайно широк. С ними связывают образование кимберлитов, карбонатитов, пикритов, щелочных базальтоидов и расслоенных интрузий основного состава. Заметную роль играют и кислые магматические породы – граниты и риолиты, причем в зависимости от глубины эрозионного среза на поверхности могут появляться только граниты или только кислые эффузивы [Ernst, 2014].

Плюмы представляют собой часть системы глобальной термохимической конвекции: восходящие субвертикальные ветви мантийных конвекционных течений, которые имеют глубинное заложение и по этой причине проявляются на поверхности Земли как внутриплитные зоны активности, не зависящие напрямую от линейных межплитных структур – зон субдукции и СОХ, хотя могут с ними взаимодействовать и сами вызывать образование линейных структур – рифтов активного типа [Пучков, 2016].

Целесообразно различать два типа проявлений плюмовой активности. Первый – это Крупные магматические провинции (КМП, или LIP) с объемом вулканических продуктов от 1 до 10 млн км³ или более и площадью от 1 до 10 млн км² [Ernst, 2014]. Они характеризуются короткими импульсами активности, обычно от 0.5 до нескольких млн лет. В случае повторных импульсов их общая активность может длиться до 20 млн лет, редко больше. Происхождение КМП обычно связывают с действием суперплюмов – гигантских апвеллингов, рожденных на границе жидкого внешнего ядра и мантии в пределах двух огромных областей низкоскоростного прохождения поперечных сейсмических волн, расположенных биполярно.

Эти две области фигурируют под наименованием супервеллов: Тихоокеанский (Тузо) и Африканский (Джейсон). Супервеллы являются также местами рождения более мелких по масштабам единичных плюмов, которые в отличие от суперплюмов вызывают значительно более постоянную вулканическую активность (в некоторых случаях до 80 млн лет). Они в меньшей мере подвержены флуктуациям и занимают относительно постоянное место и поэтому, взаимодействуя с движущимися литосферными плитами, выступают причиной образования вулканических цепей (иногда прерывистых или с раздувами), которые характеризуются линейным последовательным удревнением возраста (time-progressive volcanic chains, TPVC). Такие вулканы были названы первоначально “горячими точками”; этот термин употребляется и поныне, но не является заменой понятия “плюм”. Горячие поля (КМП) и горячие точки – лишь симптомы процесса, тогда как суперплюмы и единичные плюмы равнозначны диагнозу.

ПЛУМ-ЗАВИСИМЫЙ ГРАНИТ-РИОЛИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ (ГЛОБАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ)

Роль плюмов в генерации гранитного и риолитового магматизма в значительной мере определяется тем, насколько мощными были импульсы их активности и на кору какого типа они воздействовали. Для континентальных КМП (Коламбия Ривер, Афро-Аравийская, Карру, Калкаринджи, Кьюиноу, Урало-Сибирская и др.) наиболее характерен трапповый магматизм, но, как правило, в их разрезе в подчиненном количестве встречаются риолиты и кислая пирокластика. При этом магматизм в целом носит контрастный характер. Кроме того, датирование интрузивных пород на периферии КМП в ряде случаев показывает принадлежность к трапповым провинциям также гранитов, преимущественно А-типа [Vernikovskii et al., 2003]. Анализ продуктов кислого вулканизма обычно указывает на значительную роль контаминации, связанной с ассимиляцией пород безводного нижнего слоя кон-

тинентальной коры (гранулитов, амфиболитов) как реакцией на мощное термальное воздействие высокотемпературной магмы основного состава при андерплейтинге. Впрочем альтернативные механизмы образования кислой магмы не исключаются [Ernst, 2014 и ссылки в этой монографии].

В особый тип КМП, параллельных существенно базитовым КМП *sensu stricto*, выделяются магматические ареалы, в которых кислые породы с $\text{SiO}_2 > 65$ мас. % преобладают. Такие провинции получили название Silicic LIPS, или SLIPS [Bryan, Ernst, 2008; Bryan, Ferrari, 2013; Ernst, 2014]. Предлагаемый нами русский вариант термина – *кремнекислые* КМП, или ККМП. Можно терминологически противопоставить мафические КМП (МКМП), описанные ранее, и силикатные: MLIPS и SLIPS. В качестве примеров ККМП можно привести Уитсандэй (В. Австралия–Океания), Кеннеди–Коннорс–Ауберн (СВ Австралия), Гоулер (ЮВ Австралия), Сьерра Мадре Оксиденталь (Мексика), Чон Айке (Ю. Америка–Антарктида), Малани (Индия–Сейшелы–Мадагаскар), Гуйбей и Ксионгьер (Китай). К этому же типу, возможно, следует отнести гигантские позднепалеозойско-раннемезозойские гранитные батолиты Центрально-Азиатского орогенического пояса (Ангаро-Витимский или Баргузинский, Хангайский, Хентейский) [Yarmolyuk et al., 2014]. Признаками ККМП, по [Ernst, 2014], считаются следующие. 1. Большие занимаемые площади и объемы экструзивного магматизма – равные или лишь в несколько раз меньшие, чем в случае МКМП. 2. По объему дацит-риолитовые вулканы и граниты составляют $> 80\%$; граниты имеют характер переходных от известково-щелочных I-типа к А-типу; в более редких случаях могут присутствовать S-граниты. 3. Преобладающая литология вулкаников – риолитовые игнимбриты. 4. Продолжительность магматической активности – до 40 млн лет при длительности отдельных импульсов 3–10 млн. 5. Образуются только на континентальной коре, нередко расположены на палео- и современными континентальными границами и являясь результатом анатексиса водной легкоплавкой нижней коры под влиянием высоких температур, вызванных не-субдукционными и не-орогеническими условиями (вероятнее всего, андерплейтинг как следствие действия плюма).

На океанической коре суперплюмы образуют обширные вулканические плато; в отличие от континентальных провинций их возраст – не древнее мезозоя, вследствие того что более древняя океаническая кора субдуцирована и может быть идентифицирована только в качестве офиолитов в складчатых поясах. Наиболее крупные океанические плато в Тихом океане – Онтонг Джава, Хикуранги, Манихики, поднятия Шатского и Хесса. Как правило, гранит-риолитовые вкрапления их разрезам не свойственны. Иной характер имеют вулканиче-

ские плато, образованные в океанах атлантического типа: Североатлантическая магматическая провинция, Сьерра-Леоне, Рио-Гранде, поднятие Мод, плато Кергелен и др. Они могут включать как эпиокеанические части, так и эпиконтинентальные (микроконтиненты, вулканические пассивные континентальные окраины); первоначальной стадией их развития является эпиконтинентальный рифтогенез, который обычно в той или иной мере сопровождается формированием кислых пород – как в описанных МКМП (КМП *sensu stricto*). Однако по мере развития процесса рифтовый магматизм сменяется чисто мантийным базитовым и рифтовые комплексы чаще всего оказываются глубоко погребенными. Тем не менее кислые магматические породы местами обнажаются на поверхности, например граниты о-ва Скай в Шотландии, граниты и риолиты плато Кергелен и др. [North Atlantic Igneous Province..., 2002; Арискин, 2017].

Способность единичных плюмов, образующих вулканические цепочки с возрастной прогрессией, производить гранит-риолитовые магматические комплексы также сильно зависит от присутствия континентальной коры, ее реликтов или симатической коры аномальной мощности. Эпиокеанические вулканы с гранит-риолитовой составляющей чрезвычайно редки, и обычно кислая составляющая представлена трахитами и близкими к ним породами повышенной щелочности [Мазарович, 2000; Rohde et al., 2013; см также интернет-справочник GeoMan.ru: Библиотека по географии www.geoman.ru/books/item/f00/s00/z0000077/st222.shtml]. В качестве исключений можно привести о-в Вознесения в Южной Атлантике, но это очень молодой вулкан, не связанный ни с какой вулканической цепочкой. Из всех островов Канарского архипелага присутствием риолитов выделяется лишь самый крупный – Гран-Канария. Риолиты есть на о-ве Ян-Майен. На о-ве Пасхи в очень небольшом количестве отмечаются риолиты ультращелочного состава. Особое место среди единичных плюмов занимает Исландский. Здесь участие кислых вулкаников заметно и оценивается величиной до 7% [Арискин, 2017]. Присутствуют и граниты. Вулканическое сооружение, образованное Исландским плюмом в кооперации с САХ, отличается необычно крупными размерами при мощности коры до 40 км, что могло послужить благоприятным условием для анатексиса низов коры, где температура и давление повышены, хотя возможное участие кристаллизационной дифференциации базальтовой магмы, как правило, не исключается.

Регулярные магматические цепочки на континентальной коре довольно редки. Некоторые из цепочек вулканов не отличаются четкой возрастной последовательностью, что может быть связано со сложным динамическим взаимодействием плюма с толстой литосферой (его застревание, среза-

ние, сильный наклон под действием “мантийного ветра” и др.). Тем не менее есть несколько примеров эпиконтинентальных магматических цепочек с гранитами и (или) риолитами и с возрастной прогрессией. Это, в частности, хорошо известные риолитовые кальдеры Йеллоустонского плюма [Smith et al., 2009] с плавно нарастающим к западу возрастом от <1.0 до 16.4 млн лет. Можно назвать также анорогенные кольцевые комплексы щелочных гранитов, граносиенитов и вулканитов Нигерии с возрастом от 141 млн лет на юге до 213 млн на севере. Вулканиты, сохранившиеся в кальдерах, демонстрируют эволюцию расплавов от оливиновых базальтов через гавайиты, муджириты к трахитам и риолитовым игнимбрикам [Bowden, Kinnaird, 1984; Kinnaird et al., 2016]. Еще один пример связан с бимодальной ККМП Гоулера в ЮВ Австралии, от которой через весь континент прослеживается цепочка гранитных массивов [Ernst, 2014]. Возраст магматизма закономерно меняется с юга на север от 1595 до 1500 млн лет.

Подытоживая обзор мировой литературы, следует отметить, что среди продуктов плюм-зависимого внутриплитного магматизма гранит-риолитовый занимает заметное место; плюмы выступают при этом в качестве самостоятельного геодинамического фактора гранит-риолитового магматизма наряду с орогенцией, субдукцией и спредингом океанической коры. При этом объем гранит-риолитового магматизма зависит от типа корового субстрата – океанического или континентального (во втором случае он намного значительнее). Уже одно это наводит на мысль о важной роли плавления континентальной или переходной коры при его возникновении, что подтверждается и многочисленными аналитическими данными. Однако нельзя отрицать и возможность образования гранитов и риолитов за счет переплавления пород океанической коры (базальтоидов и амфиболитов). Как показывают экспериментальные данные [Ходоровская, 2017], это зависит от состава флюида и особенностей флюидного режима (в частности, при дегидратации амфиболитов) либо от взаимодействия метабазитов с водно-солевым (Na, K)Cl флюидом – родственным морской воде. При этом в принципе допускается и возможность участия других, альтернативных, механизмов.

ПЛУМ-ЗАВИСИМЫЙ ГРАНИТ-РИОЛИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ УРАЛА

На Урале (преимущественно на его западном склоне) в последнее время все большее внимание уделяется магматическим комплексам, которые по многим признакам имеют плюмовую природу [Puchkov et al., 2013, Пучков, 2018а,б; Холоднов и др., 2017; и др.]. Среди них лишь часть обладает отчетливо выраженной гранит-риолитовой компонентой. Далее приводится их краткое описание.

Машакский комплекс (1380–1385 млн лет)

Комплекс развит в Башкирском мегантиклинории (БМА), отвечает преимущественно машакской свите основания среднего рифея (RF₂), представленной в низах базальтами с подчиненными риолитами, а также терригенными толщами, от конгломератов до глинистых сланцев. Свита развита в осевой и восточной областях Башкирского антиклинория и резко (на расстоянии 20 км) исчезает к западу, попадая в размыв. Это обстоятельство вместе с внутриплитным рифтовым характером химизма вулканитов [Ernst et al., 2006] позволяет предполагать, что здесь обнажается западный борт грабена, имевшего отчетливо уральское простирание. Вулканиты машакской свиты, развитые в ее нижней части, представляют собой типичную контрастную риолит-базальтовую серию. Присутствие риолитов в машакском разрезе прослеживается на протяжении большей части Башкирского мегантиклинория (рис. 1). При обсуждении генезиса кислых вулканитов необходимо учитывать, что среди цирконов, сингенетичных процессу извержения, установлено наличие более древних, ксеногенных, разновидностей (в частности, с возрастом 1597 ± 27 млн лет) [Краснобаев и др., 2013а; Puchkov et al., 2013], что может указывать на участие при образовании кремнекислой магмы плавления более древних компонентов коры, чем машакские.

Более подробно вопрос о значении ассимиляции при формировании машакской свиты, состоящей из пикритов, базальтов и риолитов, был рассмотрен недавно [Ковалев и др., 2018а, б]. Показано, что в некоторых случаях U-Pb определения возраста цирконов из базальтов машакской свиты могут в основном или полностью быть значительно древнее истинного возраста вулканитов. Так, для пяти зерен циркона из пробы базальтоидов кузьелгинской подсвиты получены два дискордантных возраста – 1985.0 ± 16.0 (n = 2) и 1892.4 ± 9.7 (n = 3) млн лет. В целом разброс возрастов единичных кристаллов по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ располагается в интервале 1496–3152 млн лет. Авторами предложен механизм эволюции первичного мантийного расплава плюма по модели AFC (Assimilation ± Fractional Crystallization), при котором в первичном расплаве при температуре 1100°C и давлении 10–11 кбар путем фракционной кристаллизации возникает пикрит (оливин ± клинопироксен); в прикровельной части накапливается флюидная фаза, а древние вмещающие породы камеры активно ассимилируются базальтами, что приводит к образованию риолитов. При этом $\epsilon\text{Nd}(T)$ всех пород комплекса имеют отрицательные значения – от ≈ -1.0 для пикритов и базальтов до -7.5 для риолитов, а экстраполируемое значение исходного расплава положительное (мантийное).

Кроме вулканитов на машакском возрастном уровне в БМА известны интрузивные кремнекис-

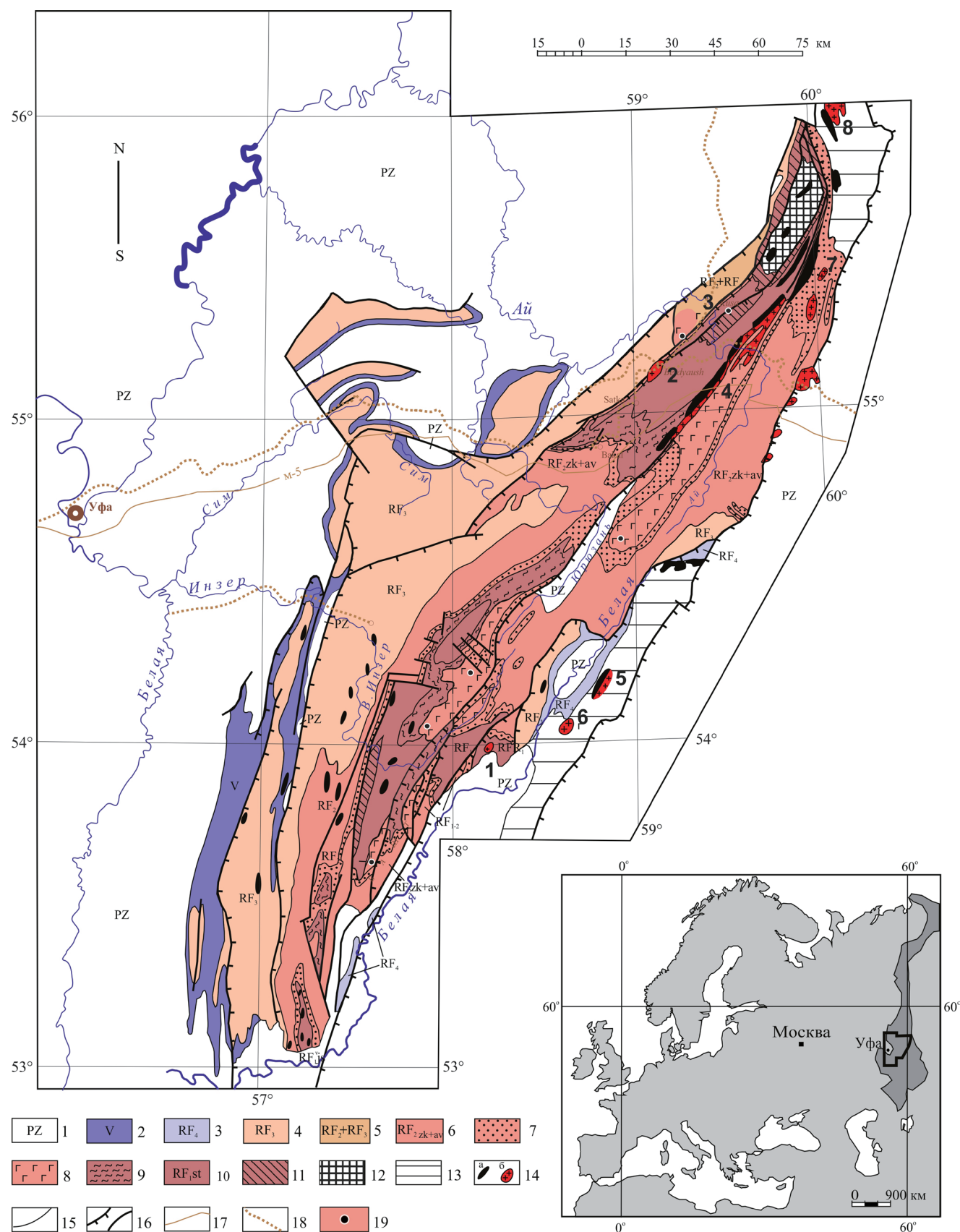


Рис. 1. Карта размещения кремнекислых магматических пород машакского, игонинского, маньхамбовского и кидрясовского (?) плумовых событий на Башкирском мегантиклинории и Уфалейском антиклинории, Южный Урал.

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 среднего рифея, 8 – машакская среднего рифея, 9 – бакальская (юшинская), 10 – саткинская (суранская) нижнего рифея, 11 – айская (большеинзерская) нижнего рифея; 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 в риолитах машакской свиты и дайках машакского возраста.
Цифры на схеме, относящиеся к кремнекислым интрузиям: 1–4 – Машакского комплекса: 1 – Ахмеровский, 2 – Бердяушский плутоны, 3 – Багрушские риолитовые дайки, 4 – Рябиновский и Губенский массивы; 5, 6 – Игонинского комплекса: 5 – Барангуловский, 6 – Мазаринский массивы; 7 – Юрминский массив кембрийского возраста; 8 – Козлиногорская габбро-сиенит-гранитная ассоциация ордовикского возраста.

Fig. 1. The localization scheme of silicic magmatic rocks of Mashak, Igonino, Mankhambo and Kidryas (?) plume events on the Baskirian meganticlinorium and Ufaley anticlinorium (Southern Urals).

1–6 – unsubdivided deposits: 1 – Paleozoic (Pz), 2–4 – Neoproterozoic: 2 – Vendian (V), 3 – Terminal Riphean (RF₄), 4 – Upper Riphean (RF₃), 5 – Neo- and Mesoproterozoic, Middle-Upper Riphean (RF₂ + RF₃); 6–11 – Formations: 6 – undivided Zigazino-Komarov and Avzyan (RF₂ zk-av), 7 – Zigalga of the Middle Riphean, 8 – Mashak of the Middle Riphean, 9 – Bakal (Yusha), 10 – Satka (Suran) of the Lower Riphean, 11 – Ai (Bolsheiner) of the Lower Riphean; 12 – Taratash complex; 13 – Uraltau and Ufaley metamorphic complexes; 14 – intrusions: gabbro (a) and granites (b); 15 – geological boundaries; 16 – main faults (thrusts and normal); 17 – highways; 18 – railroads; 19 – sampling points for zircons in rhyolites of the Mashak Formation and in dikes of the mashak age.

Numbers on the scheme for silicic intrusions: 1–4 – Mashak complex: 1 – Akhmerovo, 2 – Berdyash plutons, 3 – Bagrusha rhyolite dikes, 4 – Ryabinovo and Gubensk intrusions; 5, 6 – Igonino complex: 5 – Barangulovo, 6 – Mazara massifs; 7 – Yurma massif of Cambrian age; 8 – Kozlinogorsk gabbro-syenite-granite association of the Ordovician age.

лые комплексы (см. рис. 1), включающие, в частности, бердяушские граниты рапакиви в ассоциации с сиенитами и ксенолитами габбро; на простирании складчатых структур к северу от Бердяушского массива развит Багрушинский комплекс риолитовых даек, а далее на северо-восток – рябиновские и губенские граниты, тесно связанные с габброидным Кусинско-Копанским комплексом и образующие с ним контрастную ассоциацию. Пространственно обособленную, более восточную позицию занимает Ахмеровский гранитный массив. Определения абсолютного возраста указывают на принадлежность всех этих объектов к машакскому эпизоду [Краснобаев и др., 2007а; Puchkov et al., 2013 и ссылки в этой работе; и др.].

Наиболее полно изучена геохимия Бердяушского плутона (БП). Обоснованы его принадлежность к А-гранитам и геохимическая близость к машакским риолитам [Ларин, 2011]. Некоторые исследователи высказывали мнение о том, что граниты имеют мантийный источник. Однако, согласно последним данным по изотопии Hf циркона [Ronkin, 2017] “граниты рапакиви, кварцевые сиенодиориты, нефелиновые сиениты БП не могут быть продуктами преимущественно мантийных расплавов, поскольку диапазон экстраполированных значений $\epsilon_{\text{Hf}}(1383)$ (3.7–9.4) укладывается в поле, локализованное существенно ниже линии CHUR. Наблюдаемая закономерность находится в хорошем соответствии и с данными изотопной Sm-Nd систематики гранитов рапакиви БП, определяющей $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ (–5.0 ± 0.4)–(–7.3 ± 0.3). Другим аргументом в пользу сказанного выше является различие спектров распределения РЗЭ в цирконах габбро и остальных пород БП”. Подобные сведения приводятся в статье В.В. Холоднова с соавторами [2017].

Присутствие ксенолитов габбро в БП и их принадлежность к производным существенно деплетированной мантии, где $\epsilon_{\text{Nd}} = +4.0 \dots +4.9$, могут служить подтверждением популярной идеи о том, что плавление коры при образовании гранитов рапакиви связано с магматическим андерплейтингом в результате подъема субконтинентальной мантии [Ernst, 2014].

Игонинский комплекс (706–735 млн лет)

По нашим представлениям, комплекс принадлежит низам аршиния – завершающего, или терминального, рифея (RF₄), выделяемого в границах примерно 750–600 млн лет и названного по игонинской свите, развитой в составе типового разреза аршиния в Тирлянской мульде [Козлов и др., 2011]. По данным U-Pb анализа цирконов, игонинская свита, которая представлена преимущественно базальтоидами и лишена пород кислее дацитов, была образована в течение двух основных этапов (пульсов) эволюции с рубежами 707.0 ± 2.3 и 732.1 ± 1.7 млн лет [Краснобаев и др., 2012]. По химизму игонинский вулканический комплекс обнаруживает сходство с базальтами Восточно-Африканской рифтовой системы и, вероятно, может быть отнесен к внутриплитно-рифтогенным/плюмовым образованиям рифтов активного типа [Маслов и др., 2018]. Гранитные массивы Барангуловский и Мазаринский, которые вместе с ассоциирующими габбро отнесены к Барангуловскому контрастному габбро-гранитному комплексу, имеют близкий возраст. Для Барангуловского массива ранее методом SHRIMP получены датировки цирконов габбро (728 ± 8 млн лет) и цирконов гранитов (723 ± 10 млн) [Краснобаев и др., 2007б]. Для Мазарин-

ского массива ранний этап образования гранитов определяется датировкой 746.6 ± 24.3 млн лет, заключительный – несколько омоложенной – 709.1 ± 5.2 млн [Краснобаев и др., 2017]. Таким образом, габбро-гранитный Барангуловский комплекс может быть отнесен к тому же этапу плюмовой активности, что и игонинские вулканиты. Детальное изучение цирконов Мазаринского массива указывает на его первичный источник (субстрат). По данным SHRIMP, возраст субстрата гранитов массива оценивается интервалом 1527–1548 млн лет, а завершающий этап его эволюции – конкордантной датировкой 1388 ± 16 млн лет, близкой к мезопротерозойскому машакскому этапу магматизма. Следовательно, речь может идти об участии в плавлении пород мезопротерозойской коры. При этом наиболее близки к мазаринским и могли служить его субстратом граниты Ахмеровского массива [Краснобаев и др., 2017]. Причиной плавления мог являться тот же андерплейтинг, связанный с новым плюмовым эпизодом.

Кирибинский комплекс (670–680 млн лет)

Назван по Кирибинскому расслоенному перидотит-пироксенит-габбровому массиву, датированному 680.0 ± 3.4 млн лет [Краснобаев и др., 2013б]. Магматические породы близкого возраста имеют сравнительно ограниченное распространение в Башкирском, Кваркушском мегантиклинориях и Онежском грабене, их принадлежность КМП (LIP) стоит под вопросом. В их числе находятся журавликский верлит-габбро-гранодиоритовый массив – 671.0 ± 7.5 млн лет, а также троцкий граносиенитовый – 671.0 ± 24.0 млн лет [Петров и др., 2005].

Маньхамбовский комплекс (564–485 млн лет)

Назван по крупнейшему на севере Урала массиву А-гранитов, который, по нашему мнению, трансгрессивно перекрыт кварцитами и аркозами тельпосской свиты ордовика и имеет кембрийский возраст (рис. 2). Комплекс представлен А-гранитами, ассоциирующими с ними габбро и контрастным базальт-риолитовым комплексом вулканитов. А-граниты (anorogenic – анорогенные, alkaline – щелочные, anhydrous – безводный) являются особой генетической группой, о чем свидетельствует многозначность расшифровки литеры. Во-первых, отражена геодинамическая обстановка преимущественного развития гранитов – они тяготеют к стабильным (кратонизированным) блокам земной коры, проявляясь чаще всего в рифтовых зонах и внутренних частях континентальных плит. Во-вторых, отражена повышенная щелочность гранитов, которая может служить указанием на их принадлежность к дифференциатам щелочно-базальтовых магм. В-третьих, подчеркнута низкая водонасы-

щенность, что свойственно продуктам плавления нижнекоровых гранулитов. А-граниты севера Урала ассоциируют с габбро и комагматичны вулканитам контрастной ассоциации, их образование предположительно связано с андерплейтингом.

Трудность выделения этого комплекса и его геодинамической интерпретации на Урале состоит в том, что он местами пространственно тесно связан и иногда переплетается с субдукционно-орогенными I-гранитами, комагматичными с ними вулканическими сериями; по определениям абсолютного возраста А-граниты следуют за I-гранитами, порой первые накладываются по возрасту на вторые, создавая впечатление своеобразного геодинамического хаоса. Оба типа гранитов особенно многочисленны на Приполярном Урале [Махлаев, 1998; Кузнецов и др., 2007]. I-гранитоиды представлены широким спектром пород от кварцевых диоритов до лейкогранитов и на петрохимических диаграммах попадают в поля конвергентных геодинамических обстановок и активных континентальных окраин. В их число входят Малдинский, частично Народнинский, Вангырский, Лапчавожский, Ильяизский массивы. С ними связаны вулканиты последовательно дифференцированных базальт-андезит-дацитовых серий. Сами они образуют габбро-диорит-гранодиорит-гранитные серии указанных геодинамических обстановок. Абсолютные возрасты по цирконам методом термоионной эмиссии свинца и U-Pb методом, в том числе SHRIMP, имеют разброс от терминального рифея до кембрия (695 ± 19 до 515 ± 8 млн лет, с подавляющим преобладанием вендских цифр). А-граниты, представленные Лемвинским, Тынаготским, Народнинским (частично), Хартесским, Кефталыкским, Тынаготским, Кожимским, Маньхамбовским и другими массивами, имеют узкий спектр составов (преобладают лейкократовые разности). По петрохимии они родственны магматическим формациям дивергентных геодинамических обстановок. Возрастные датировки (Pb-Pb, U-Pb, SHRIMP) группируются в диапазоне 564–487 млн лет (конец венда и практически весь кембрий) и почти смыкаются с ордовикскими магматитами кидрясовского плюмового события (см. далее).

Наложение возрастов I- и А-гранитов продемонстрировано на примере соседствующих Ильяизского (519.7 ± 6.3 – 491.0 ± 5.0 млн лет) и Маньхамбовского (522.0 ± 6.0 – 507.2 ± 5.5 млн лет) массивов парадоксально [Udoratina et al., 2017] и может свидетельствовать либо о частичном сосуществовании контрастного коллизионного и плюмового геодинамических механизмов, источники которых имели разную глубинность, либо о разном субстрате, плавление которого приводит к образованию разных гранитов (в этом случае Ильяизский массив тоже плюмовый). Известно, что в ряде случаев кремнекислые КМП характеризуются присутствием

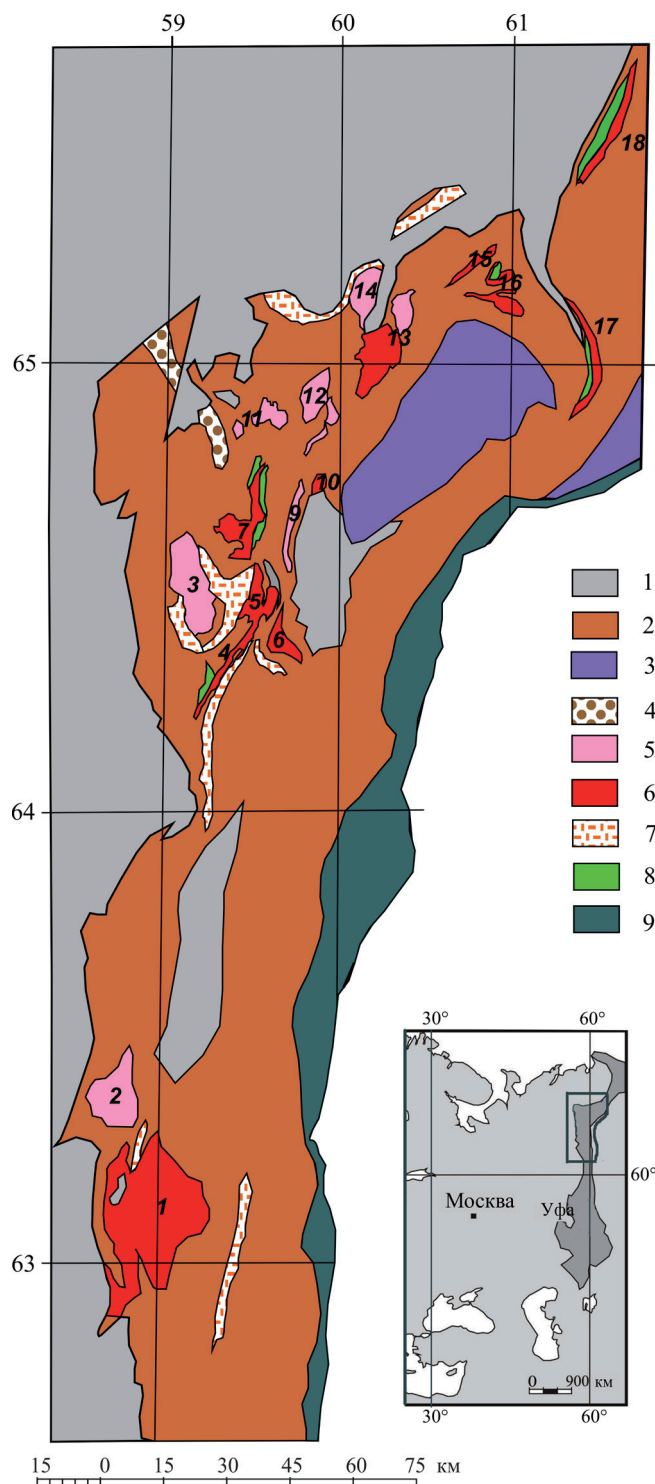


Рис. 2. Карта размещения позднепротерозойско-кембрийских гранитных массивов на Приполярном Урале [Пучков, 1975; Махлаев, 1998; Кузнецов и др., 2007].

1 – палеозойские (ордовикские и более молодые) осадочные формации; 2 – рифейские (мезо- и неопротерозойские) отложения; 3 – раннепротерозойские (палеопротерозойские) метаморфические толщи; 4 – вендские полимиктовые грубообломочные отложения (моласса тиманиды); 5 – I-граниты (габбро-диорит-гранодиорит-

гранитные серии) преимущественно вендского возраста; 6 – A-граниты преимущественно лейкократовые, по возрасту в основном кембрийские; 7 – риолиты позднерифейско-кембрийского возраста нерасчлененные; 8 – габбро контрастной габбро-гранитной серии; 9 – изверженные породы зоны Главного Уральского разлома.

Цифры на схеме – названия интрузивных массивов: 1 – Маньхамбо; 2 – Илья-Из; 3 – Малопатокский; 4 – Торговский; 5 – Кефталыкский; 6 – Хартецкий; 7 – Неройско-Патокский; 8 – Вангырский; 9 – Сальнерский; 10 – Няртинский; 11 – Водораздельный; 12 – Парнукский, Городкова и Маньхобеуский; 13 – Народнинский; 14 – Малдинский; 15 – Хаталамба-Лапчинский; 16 – Кожимский; 17 – Тынаготский; 18 – Лемвинский.

Fig. 2. The map of the Late Proterozoic-Cambrian granite massifs in the Cis-Polar Urals. [Puchkov, 1975; Makhlaev, 1998; Kuznetsov et al., 2007].

1 – Paleozoic (Ordovician and younger); 2 – Riphean (Mezo- and Neoproterozoic) deposits; 3 – Paleoproterozoic metamorphic complex; 4 – Vendian (Ediacaran) polymictic deposits (molasse of Timanides), 5 – I-granites; 6 – A-granites; 7 – rhyolites of the Neoproterozoic-Cambrian age, undivided; 8 – gabbro of the contrast gabbro-granite series; 9 – crystalline rocks of the Main Uralian Fault.

The numbers on the scheme – the names of massifs: 1 – Mankhambo; 2 – Ilya-Iz; 3 – Malopatoksky; 4 – Torgovskiy; 5 – Kefalyksky; 6 – Khartessky; 7 – Neroiskopatoksky; 8 – Vangyrsky; 9 – Salnersky; 10 – Nyartinsky; 11 – Vodorazdelny; 12 – Parnuksky, Gorodkova and Mankhobeyusky; 13 – Narodninsky; 14 – Maldinsky; 15 – Khatalamba-Lapchinsky; 16 – Kozhimsky; 17 – Ty-nagotsky; 18 – Lemvinsky.

I-гранитов [Ernst, 2014]. Присутствие аномально высокого объема гранитоидов в продуктах плюма могло быть связано с тем, что после закончившейся тиманской орогении в литосфере еще сохранялись высокие температуры, что вызывало большие масштабы плавления в коре.

Развитие кембрийских A-гранитов наряду с гранитами I-типа характерно не только для Приполярного Урала, оно описано на Полярном и Приполярном Урале, на Северном Урале в Ишеримском блоке, в Уфалейском блоке Среднего Урала и даже на севере Башкирского антиклинория (Юрминский массив) [Петров и др., 2005; Шардакова, 2016; Shar-dakova, 2017; Shuyskiy et al., 2017; и др.]. Эти комплексы прослеживаются неравномерным пунктиром (прерываясь) к западу от Главного Уральского разлома и предвещают раскрытие Палеоуральского океана в раннем ордовике, сопровождавшееся возникновением кидрясовского рифтового комплекса, с извержением преимущественно пород основного состава, отражавшего образование лишенно-континентальной коры океанического “зияния”, где плавление континентальной коры уже не могло происходить за отсутствием таковой.

A-граниты маньхамбовского типа формировались на фоне несильных восходящих движений земной поверхности: кембрийские отложения, кро-

ме как в олистолитах, на Урале и в Приуралье практически неизвестны – только в самом конце кембрия началось локальное накопление терригенных отложений, перешедшее в масштабное накопление грабеновых фаций в начале ордовика.

Кидрясовский комплекс (475–460 млн лет)

Образование грабеновых фаций – грубообломочных толщ, мощность которых сильно меняется от места к месту и чье формирование сопровождается преимущественно субщелочным вулканизмом основного состава, является непосредственным предвестником раскалывания Восточно-Европейского континента на фоне усиления плюмового процесса, приведшего в конечном счете к возникновению Палеоурального океана и его восточного ограничения – пассивной континентальной окраины вулканического типа [Puchkov, 2002; Пучков, 2010]. Сохранившиеся от эрозии и захороненные осадками грабеновые фации пунктирно прослеживаются вдоль всего западного склона Урала, от Сакмарской зоны до Байдараты. При этом риолиты и граниты развиты довольно слабо. На Среднем Урале вблизи зоны ГУР к ордовикским рифтовым формациям предположительно отнесена козинская свита – мощная (до 3000 м) толща кварцитоесчанников и конгломератов с прослоями мраморов, туфов, базальтов, трахибазальтов и изредка риолитов. На Полярном Урале среди субщелочных вулканитов есть фаунистически датированные кислые эффузивы (молодшорская свита) и риолитовые дайки [Пучков, 1979; Соболева и др., 2010]. Еще севернее, 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 статье].

Особо следует упомянуть развитую в Уфалейском блоке Среднего Урала Козлиногорскую габбро-сиенит-гранитную ассоциацию [Tevelev et al., 2015], считавшуюся пермской, а затем датированную цитируемыми авторами 476–470 млн лет (флой). Гранитоиды умеренно-щелочные, серия в целом по геохимическим параметрам внутриплитная. Вопросы о ее возрасте и отнесении к тому или иному комплексу – дискуссионные. Альтернативной точки зрения по поводу возраста ассоциации придерживаются Г.Ю. Шардакова с соавторами [2015]. Возраст, определенный по биотиту из габбро Ar-Ar методом, составил 457.8 ± 5.8 млн лет. Получены также предварительные результаты определений возраста цирконов из гранитов, подавляющее большинство измерений U-Pb возраста дает результат в интервале 449–480 млн лет. На основании новых датировок возраст козлиногор-

ской группы интрузий принят авторами как позднеордовикский. Допускается, что в эту группу могли быть объединены пространственно совмещенные, близкие по составу, но несколько разновременные образования, поэтому для щелочных пород из разных инъекций возможны и более молодые возрасты. Сходной точки зрения придерживается А.А. Краснобаев, имевший дело с фракциями цирконов из щелочных пород этой ассоциации. Мы считаем, что правомерно сравнение с другими известными щелочными комплексами Урала (в составе которых в ряде случаев, как известно, встречаются и карбонатиты). Их большая часть сосредоточена восточнее зоны ГУР; максимально полно изученным является Ильмено-Вишневогорский комплекс (ИВК), разнотипные породы которого имеют исходный возраст в интервале 440–420 млн лет, а изотопные данные предполагают существенную роль мантийного материала в субстрате. В случае такой интерпретации Козлиногорская габбро-гранитная ассоциация может быть отнесена уже к следующему по возрасту Ушатскому комплексу.

Ушатский комплекс (440–450 млн лет)

Получил название по разрезу на западном крыле Тараташского поднятия (р. Ушат). В ряде обнажений БМА из субщелочных базальтоидов, относившихся к айской и машакской свитам, получены цирконы в узком возрастном интервале 435–455 млн лет [Краснобаев и др., 2018]. На западном склоне Среднего Урала этот магматический этап проявился в качестве сиенит-порфиров Верхнесеребрянского комплекса (возраст 447 ± 8 млн лет [Петров и др., 2005]). Из близких событий, ранее известных на Южном Урале, – возникновение большей части Ильмено-Вишневогорского щелочного карбонатитового комплекса (410–446 млн лет), испытавшего затем преобразования на коллизионных рубежах позднего девона и перми с формированием пегматитов нескольких типов. Вопрос об отнесении сюда козлиногорских габбро, сиенитов и гранитов остается открытым. В качестве аналогов Ушатского комплекса можно назвать монтерегийскую группу щелочных интрузий на канадском побережье Атлантики [Пучков, 2010].

Тимаизский дайково-силловый комплекс западного склона Урала (400–360 млн лет, преимущественно 380–360 млн)

Мы показали [Puchkov et al., 2016] наличие в этом комплексе на западном склоне Урала, Пай-Хое и Новой Земле девонских дайковых роев и связанных с ними эффузивов, происхождение которых тесно связано с образованием девонской Кольско-Днепровской КМП. Гранитоиды и риолиты в этом комплексе практически отсутствуют. Имеются

лишь сведения [Симаков, 1972] о наличии в верховьях р. Печора ассоциации микрогаббро, сиеногранитов и аляскитов, рвущих средний девон и датированных К-Аг методом 276 ± 13 и 296 ± 12 млн лет (нижняя пермь), однако, скорее всего, эти датировки омоложенные (иначе их не к чему “привязать”). Не исключен их девонский возраст. Можно также упомянуть лишь о единичной дайке риолитов в девонском Аптечногорском комплексе в г. Нижние Серги на Среднем Урале.

Степнинский монцонит-гранитный комплекс (280–285 млн лет)

Назван по Степнинскому монцодиорит-гранитному комплексу пермского возраста, детально описанному в работе [Ферштатер, 2013] и представленному цепочкой интрузий (с СЗ на ЮВ: Уйский, Вандышевский, Бирюковский, Степнинский), пересекающей три структурные зоны Южного Урала и наложенной на его складчато-покровную структуру. Предварительные данные о возрасте массивов, полученные на SHRIMP-2 (ВСЕГЕИ), перечисленные в той же последовательности (281 ± 2 , 281 ± 2 , 280 ± 2 и 286 ± 2 млн лет) указывают на их раннепермский возраст. Предположение о плюмовом характере комплекса высказывалось уже давно, исходя из наложенного характера цепочки интрузий [Пучков и др., 1986]. По геохимическим особенностям [Сначёв и др., 2018] спектр пород Степнинского комплекса четко укладывается в два главных эталонных тренда: монцонитовый (монцогаббро, монцодиориты, сиениты) и известково-щелочной, что указывает на различный механизм образования, с одной стороны, основных-средних пород и кислых – с другой. При этом габбро попадают в поля OIB, что роднит их с рифтовыми/плюмовыми комплексами мантийной природы. Образование кислых пород известково-щелочного тренда может быть объяснено не субдукцией (которая здесь давно закончилась), а плавлением коры. Ранее мы предполагали правильную возрастную прогрессию возрастов гранитов, но она не подтвердилась. В складчатой области это большая редкость.

Урало-Сибирский триасовый (250–230 млн лет)

Крупная триасовая магматическая провинция (LIP), к которой частично принадлежит территория Урало-Новоземельской складчатой зоны, охватывает огромную область Сибири, эту провинцию следует называть Урало-Сибирской. Магматические события на границе перми и триаса рассматриваются как проявления гигантского суперплюма. На Урале и в Приуралье к ним относятся излияния трапповых базальтов триасового возраста, развитие здесь от Тургая до Пай-Хоя. Трапповые излияния на Полярном Урале и в Сибири начались синхронно на

границе перми и триаса (250 млн лет назад). Кислые эффузивы, придающие базальтовым излияниям контрастный характер, имеют весьма подчиненное распространение и описаны на Среднем Урале к востоку от г. Каменск-Уральский (в Борисовском и Першинском карьерах, где они датированы U-Pb методом как ранний триас) [Пучков, 2010 и ссылки в этой работе]. Триасовые траппы известны в наложенных на уральские структуры грабенах Западно-Сибирского бассейна: Северо-Сосьвинском, Даниловском и Половинкинском [Иванов и др., 2016]. При этом только для Даниловского характерно присутствие контрастной базальт-риолитовой формации, наличие которой предположительно связано с более сиалическим составом фундамента.

Мы рассматривали данные [Пучков, 2010], приведенные в работах о триасовых возрастных датировках в малых интрузиях кислого состава, пространственно обособленных от триасовых вулканитов (Малочекинский и Кисинетский комплексы), а также в мурзинско-адуйских коллизионных гранитах [Попов, 2003; Тевелев и др., 2009]. Эти датировки достаточно противоречивы и не могут однозначно указывать на синхронность образования этих гранитоидов с началом траппового магматизма. Во всяком случае, наша попытка подтвердить триасовый возраст щелочных гранитоидов Малочекинского комплекса привела к выводу о его каменноугольном возрасте [Салихов и др., 2013].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общий обзор условий, при которых плюмовые процессы могут приводить к формированию кремнекислых расплавов, а также рассмотрение риолит-гранитного магматизма как компоненты плюмового магматизма на примере ряда вулканогенных и интрузивных комплексов Урала показывают, что наряду со спредингом, субдукцией и коллизией плюм-тектоника является мощным самостоятельным фактором, регулирующим кремнекислый магматизм на коре континентального и переходного типов. В ряде случаев она может ассоциировать с рифтогенезом активного типа (последний, впрочем, является следствием плюмовых процессов, имеющих глубинное происхождение, а их не причиной). Однако во многих случаях никаких признаков грабенов или их реликтов не наблюдается. Говоря о причинах формирования кислых выделов, нельзя отрицать возможности дифференциации базальтовой магмы или ее ликвации, но главной причиной, по-видимому, остается плавление коры и в особенности ее более древних кремнекислых составляющих под действием исходной магмы основного состава, генерируемой плюмом.

Работа поддержана Российским научным фондом, проект № 16-17-10192.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арискин А.А. (2017) Магматические формации геодинамических обстановок. Курс лекций [Электронный ресурс]. Лекции 15, 16а, 16б. URL: <http://www.planetology.ru/lectures/ariskin/?language=russian> (дата обращения: 17.09.2018).
- 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; ООО “КогалымНИПИнефть”, 302 с.
- Ковалев С.Г., Высоцкий С.И., Ковалев С.С. (2018а) Модель образования магматических пород Шатакского комплекса. *Геол. вестн.*, 1(2). В печати.
- Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Высоцкий С.И., Ковалев С.С. (2018б). Находки “древних” цирконов в магматических породах Шатакского комплекса (Южный Урал) и их петрогенетические следствия. *Докл. АН*. В печати.
- Козлов В.И., Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Нехорошева А.Г., Бушарина С.В. (2011) Аршиний – новый стратон рифей в стратотипических разрезах Южного Урала. *Геол. сборник ИГ УНЦ РАН*, 9, 3-8.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Бушарина С.В., Сергеева Н.Д., Падерин И.П. (2013а) Цирконовая геохронология машакских вулканитов и проблема возраста границы нижний-средний рифей (Южный Урал). *Стратигр. геол. коррел.*, 21(5), 3-20.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Ларионов А.Н., Нехорошева А.Г., Бережная Н.Г. (2007б) О возрасте Барангуловского габбро-гранитного комплекса Южного Урала. *Геол. сборник ИГ УНЦ РАН*, 6, 7-16.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Родионов Н.В., Нехорошева А.Г., Кисеева К.Н. (2007а) Ахмеровский гранитный массив – представитель мезопротерозойского интрузивного магматизма на Южном Урале. *Докл. АН*, 418(2), 241-246.
- 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., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д. (2013б) Цирконология пироксенитов Кириябинского пироксенит-габбрового комплекса (Южный Урал). *Докл. АН*, 450(2), 204-208.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д. (2018) Полихронная цирконология навыйских вулканитов айской свиты (Южный Урал). *Докл. АН*, 478(1), 74-80.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. (2017) Минералогия, U-Pb (TIMS, SHRIMP) возраст и редкие земли цирконов гранитов Мазаринского массива (Южный Урал). *Геохимия*, (6), 497-512.
- Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоратина О.В., Герцева М.В., Андреичев В.Л., Дорохов Н.С. (2007) Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Ч. 2. Позднекембрийско-кембрийская коллизия Балтики и Арктиды. *Литосфера*, (4), 32-45.
- Ларин А.М. (2011) Граниты рапакиви и ассоциирующие породы. СПб.: Наука, 402 с.
- Мазарович А.О. (2000) Геологическое строение Центральной Атлантики: разломы, вулканические сооружения и деформации океанского дна. М.: Науч. мир, 176 с.
- Маслов А.В., Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д. (2018) Аршинская серия рифей Южного Урала: к вопросу о геодинамической природе породных ассоциаций. *Докл. АН*, 480(1), 1-5.
- Махлаев Л.В. (1998) От чего зависит минеральный состав гранитов. *Соросовский образовательный журнал*, (11), 120-125.
- Петров Г.А., Маслов А.В., Ронкин Ю.Л. (2005) Допаалеозойские магматические комплексы Кваркушко-Каменногорского антиклинория (Средний Урал): новые данные по геохимии и геодинамике. *Литосфера*, (4), 42-69.
- Попов В.С., Богатов В.И., Петрова А.Ю., Беляцкий Б.В. (2003) Возраст и возможные источники гранитов Мурзинско-Адуйского блока, Средний Урал, Rb-Sr и Sm-Nd изотопные данные. *Литосфера*, (4), 3-18.
- Пучков В.Н. (1975) Структурные связи Приполярного Урала и Русской платформы. Л.: Наука, 202 с.
- Пучков В.Н. (1979) Батальные 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. (2016) Взаимосвязь плитотектонических и плюмовых процессов. *Геотектоника*, (4), 88-104.
- Пучков В.Н. (2018а) Взаимоотношения процессов плюм-и-плейт-тектоники на Урале. *Мат-лы I тектонического совещания*. Т. 2. М.: ГЕОС, 124-127.
- Пучков В.Н. (2018б) Плюмы – новое слово в геологии Урала. *Литосфера*, 18(4), 483-499.
- Пучков В.Н., Рапопорт М.С., Ферштатер Г.Б., Ананьева Е.М. (1986) Тектонический контроль палеозойского гранитоидного магматизма на восточном склоне Урала. *Исследования по петрологии и металлогении Урала*. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 85-95.
- Салихов Д.Н., Мосейчук В.М., Пучков В.Н. (2013) О возрасте щелочных гранитоидов магнитогорской габбро-гранитной серии. *Литосфера*, (5), 165-171.
- Симаков Г.В. (1972) Интрузивные породы верховьев р. Печоры, Северный Урал. *Тр. VII геологической конф. Коми АССР*. Сыктывкар:ИЗД, 121-123.
- Сначёв А.В., Пучков В.Н., Сначёв В.И., Романовская М.А. (2018) Петрогеохимические особенности и условия кристаллизации монцодиорит-гранитных массивов Пластовской площади (Южный Урал). *Вестн. МГУ, Сер. 4: Геология*. В печати.
- Соболева А.А., Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Васильев А.В. (2010) Зеленые сланцы Лемвинской зоны. *Вестн. ИГ КНЦ РАН*, (1), 14-20.
- Тевелев А.В., Кошелева И.А., Фурина М.А., Беляцкий Б.В. (2009) Триасовый магматизм Южного Урала: геохимия, изотопия, геодинамика. *Вестн. МГУ. Сер. геол.*, (2), 29-38.
- Ферштатер Г.Б. (2013) Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 368 с.
- Ходоревская Л.И. (2017) Влияние флюидного режима на плавление пород океанической коры (экспериментальные данные) при 900–1000°C, 5–10 кбар. *Грани-*

- ты и эволюция Земли: мантия и кора в гранитообразовании. Мат-лы III Междунар. геол. конф. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 328-330.
- 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.
- Шардакова Г.Ю. (2016) Геохимические особенности и изотопный возраст гранитоидов Башкирского мегантиклинория – свидетельства импульсов эндогенной активности в зоне сочленения Уральского орогена с Восточно-Европейской платформой. *Геохимия*, (7), 607-622.
- Шардакова Г.Ю., Савельев В.П., Пужаков Б.А., Петров В.И. (2015) Новые данные о химическом составе и возрасте пород Козлиногорского комплекса. *Ежегодник-2014. Тр. ИГГ УрО РАН*, **162**, 148-154.
- Bowden P., Kinnaird J.A. (1984) The petrology and geochemistry of alkaline granites from Nigeria. *Phys. Earth Planet. Interiors*, **35**, 199-211.
- Bryan S.E., Ernst R.E., (2008) Revised definition of Large Igneous provinces (LIPs) *Earth Sci. Rev.* **86**, 175-200.
- Bryan S., Ferrari L. (2013) Large igneous provinces and silicic large igneous provinces: Progress in our understanding over the last 25 years. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **125**, 1053-1058.
- Ernst R. Large Igneous Provinces. L.: Cambridge University Press, 2014. 653 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. Geol. Institute of the Ufimian scientific centre of RAS*, (5), 119-161.
- Kinnaird J.A., Nex P.A.M., Milani L. (2016) Tin in Africa. *Episodes*, **39**(2), 361-380.
- North Atlantic Igneous Province: Stratigraphy, Tectonic, Volcanic and Magmatic Processes (2002). (Eds D.W. Jolley, B.R. Bell). *Geol. Society, London, Special Publ.*, **197**, 1-13.
- Puchkov V. (2002) Paleozoic evolution of the East European continental margin involved into the Urals. *Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present* (Eds D. Brown, C. Juhlin, V. Puchkov). *AGU Geophys. Monograph Ser.*, **132**, 9-32.
- Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R., Kozlov V.I., Krasnobayev A.A., Söderlund U., Wingate M.T.D., Postnikov F.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.
- Puchkov V.N., Krasnobayev A.A., Sergeeva N.D., Busharina S.V., Shokalsky S.P. (2017) Zircon, Age, and Geological Setting of Rhyodacite-Porphyry from the Bagrysha Complex (South Urals). *Earth Sci.*, **477**(1), 1295-1300.
- Rohde J.K., Bogaard P. van den, Hoernle K., Hauff F., Werner R. (2013) Evidence for an age progression along the Tristan-Gough volcanic track from new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages on phenocryst phases. *Tectonophysics*, **604**, 60-71.
- Ronkin Yu.L. (2017) Isotope geology of rapakiwi granites and related rocks of the Southern Urals: Rb-Sr, Sm-Nd, Lu-Hf AND U-Pb constraints. *Granites and the Earth's Evolution: the Mantle and the Crust in Granite Origin*. Proc. 3rd Int. geol. conf. Ekaterinburg IGG UB RAS Publ., 239-241.
- Shardakova G.Yu. (2017) Vendian-Cambrian granitoids of the western slope of the Urals: features of the composition, geodynamic settings, sources, problems. *Granites and the Earth's Evolution: the Mantle and the Crust in Granite Origin*. Proc. of the 3rd Int. geol. conf. Ekaterinburg IGG UB RAS Publ., 341-343.
- Smith R.B., Jordan M., Steinberger B., Puskas C.M. Farrell J., Waite G.P., Husen S., Wulung Chang, O'Conner R. (2009) Geodynamics of the Yellowstone hotspot and mantle plume: seismic and GPS imaging, kinematics, and mantle flow. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **188**, 26-56.
- Shuyskiy A.S., Udoratina O.V., Meng Fancong, Geng Jianzhen (2017) Riftogenic A-type granites of the Polar Urals: new data problems. *Granites and the Earth's Evolution: the Mantle and the Crust in Granite Origin*. Proc. 3rd Int. geol. conf. Ekaterinburg, 361-363.
- Tevelev A.I., 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 Western Slope of the Southern Urals. *Moscow University 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. 3rd Int. geol. conf. Ekaterinburg, 300-303.
- Vernikovskiy V.A., Pease V.I., Vernikovskaya A.E., Romanov A.P., Travin A.V. (2003) First report of Early Triassic A-type granite and syenite intrusions from Taymyr: product of the northern Eurasian superplume. *Lithos*, **66**, 23-36.
- 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**, 158-179.

REFERENCES

- 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. Geol. Institute of the Ufimian scientific centre of RAS*, (5).
- Fershtater G.B. (2013) Paleozoiskii intruzivnyi magmatizm Srednego i Yuzhnogo Urala [Paleozoic intrusive magmatism of the Middle and Southern Urals]. Ekaterinburg, UrO RAS Publ., 365 p. (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 the basement of Cis-Uralian part of the West-Siberian oil and gas megabasin] Ekaterinburg, IGG UrO RAS Publ., 302 p. (In Russian)
- Khodorevskaya L.I. (2017) Influence of fluid regime on the melting of rocks of oceanic crust (experimental data) at 900–1000°C, 5–10 kbar. *Granity i evolutsia Zemli mantiya I kora v granitoobrazovanii*. [Granites and the Earth's Evolution: the Mantle and the Crust in Granite Origin] *Proc. 3rd Int. geol. conf.* Ekaterinburg, 341–343. (In Russian)
- Kholodnov V.V., Fershtater G.B., Shagalov E.S., Shardakova G.Yu. (2017) The Riphean magmatism and ore formation, before the opening of the Uralian Paleoocean (the western slope of the Southern Urals). *Lithosfera*, 17(2), 5–26. (In Russian)
- Kinnaird J.A., Nex P.A.M., Milani L. (2016) Tin in Africa. *Episodes*, 39(2), 361–380.
- Kovalev S.G., Vysotsky S.I., Kovalev S.S. (2018a) Model formirovaniya magmaticheskikh porod Shatakского комплекса [Model of the origin of magmatic rocks of the Shatak complex]. *Geol. Vestn.*, 1(2). In print. (In Russian)
- Kovalev S.G., Puchkov V.N., Vysotsky S.I., Kovalev S.S. (2018b) Finds of “ancient” zircons in igneous rocks of the Shatak complex (Southern Urals) and their petrogenetic consequences. *Dokl. AN*. In print. (In Russian)
- Kozlov V.I., Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Nekhorosheva A.G., Busharina S.V. (2011) Arshinian – a new straton of the Riphean in the stratotypical sections of the Southern Urals. *Geologicheskii Sbornik, IG UNC RAS*, 9, 3–8. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Busharina S.V., Sergeeva N.D., Paderin I.P. (2013a). Zircon geochronology of the Mashak volcanics and the problem of an 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. (2007b). On the age of Barangulovo gabbro-granite complex, Southern Urals. *Geol. Sbornik IG USC RAS*, 6, 7–16. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Rodionov N.V., Nekhorosheva A.G., Kiseeva K.N. (2007a). Akhmerovo massif – a representative of Mesoproterozoic intrusive magmatism in the Southern Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, 418(2), 241–246. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D. (2013b) [Tsirkonologiya piroksenitov Kiryabinskogo piroksenit-gabbrovogo kompleksa (Yuzhny Ural) [Zirconology of the Kiryabinsky pyroxenite-gabbro complex (Southern Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, 450(2), 204–208. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D. (2018) Polychronous zirconology of the Navysh volcanics of the Ai Formation. *Dokl. Akad. Nauk*, 478(1), 74–80. (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). *Lithosphere*, 4, 127–140. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V. (2017) Mineralogy, U-Pb (TIMS, SHRIMP) age and REE in zircons of granites of the Mazara massif (Southern Urals). *Geokhimiya*, 6, 497–512. (In Russian)
- Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Udoratina O.V., Gertseva M.V., Andreichev V.L., Dorokhov N.S. (2007) Pre-uralian tectonic evolution of the north-eastern and eastern frame of the East European platform. P 2. *Lithosfera*, (4), 32–45. (In Russian)
- Larin A.M. (2011) *Granity rapakivi i assotsiirovuyushchie porody* [Rapakivi-granites and associated rocks]. St.Petersburg, Nauka Publ., 402 p. (In Russian)
- Makhlaev L.V. (1998) On what depends the mineral composition of granites. *Soros educational J.*, 11, 120–125. (In Russian)
- Maslov A.V., Kovalev S.G., Puchkov V.N., Sergeeva N.D. (2018) Arshinian series of the Riphean of the Southern Urals: on the question of geodynamic nature of the rock associations. *Dokl. Akad. Nauk*, 480(1), 1–5. (In Russian)
- Mazarovich A.O. (2000) Geologicheskoe stroenie Tsentral'noi Atlantiki: razlomy, vulkanicheskie sooruzheniya i deformatsii okeanskogo dna [Geological structure of the Central Atlantica: faults, volcanic edifices and deformations of oceanic floor]. Moscow, Nauchnyi Mir Publ., 176 p. (In Russian)
- North Atlantic Igneous Province: Stratigraphy, Tectonic, Volcanic and Magmatic Processes (2002). (Eds D.W. Jolley, B.R. Bell). *Geol. Society, London, Special Publ.*, 197, 1–13.
- 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. *Lithosfera*, (4), 42–69. (In Russian)
- Popov V.S., Bogatov V.I., Petrova A.Yu., Belyatski B.V. (2003) Age and probable sources of granites of the Murzinsk-Aduj block, Srednij Urals. *Lithosfera*, 4, 3–18. (In Russian)
- Puchkov V.N. (1975) *Strukturnye svyazi Pripolyarnogo Urala i Russkoi platformy* [Structural connections of Pre-Polar Urals and Russian Platform] Leningrad, Nauka Publ., 202 p. (In Russian)
- Puchkov V. (1979) *Batialnye komplekсы passivnykh okrain geosynkinalnykh oblastei* [Bathyal complexes of passive margins of geosynclines]. 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*. (Eds D. Brown, C. Juhlin, V. Puchkov). *AGU Geophysical Monograph Series*, 132, 9–32.
- Puchkov V.N. (2010) *Geologiya Urala i Priuralya (aktualnye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and Cis-Urals (actual topics of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogenesis)].

- ny]. Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 280 p. (In Russian)
- Puchkov V. N. (2016) Relationships of plate-tectonic and plume processes. *Geotektonika*, **4**, 88-104. (In Russian)
- Puchkov V. N. (2018a). Relationships of plate-tectonic and plume processes in the Urals. *Materialy L Tektonicheskogo soveshaniya. T. 2* [Materials of the L-th Tectonic Meeting. V. 2]. Moscow, GEOS Publ., 124-127. (In Russian)
- Puchkov V. N. (2018b) Plumes – a new word in the geology of the Urals. *Lithosfera*, **18**(4), 483-499. (In Russian)
- Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R., Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., Söderlund U., Wingate M.T.D., Postnikov F.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.
- Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Sergeeva N.D., Busharina S.V., Shokalsky S.P. (2017) Zircon, Age, and Geological Setting of Rhyodacite-Porphyry from the Bagrussha Complex (South Urals). *Earth Sci.*, **477**(1), 1295-1300.
- Puchkov V.N., Rapoport M.S., Fershtater G.B., Ananyeva E.M. (1986) Tectonic control of the Paleozoic granitoid magmatism on the eastern slope of the Urals. *Issledovaniya po petrologii i metallogenii Urala*. [Studies on petrology and metallogeny of the Urals] Sverdlovsk, IGG UNTz AN SSSR Publ., 85-95. (In Russian)
- Rohde J.K., Bogaard P. van den, Hoernle K., Hauff F., Werner R. (2013) Evidence for an age progression along the Tristan-Gough volcanic track from new ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages on phenocryst phases. *Tectonophysics*, **604**, 60-71.
- Ronkin Yu.L. (2017) Isotope geology of rapakiwi granites and related rocks of the Southern Urals: Rb-Sr, Sm-Nd, Lu-Hf AND U-Pb constraints. *Granites and the Earth's Evolution: the Mantle and the Crust in Granite Origin*. Proc. 3rd Int. geol. conf. Ekaterinburg IGG UB RAS Publ., 239-241.
- Shardakova G.Yu. (2016) Geochemical features and isotopic age of the granitoids of the Bashkirian meganticlinorium – the evidence of pulses of endogenic activity in the junction zone of the Uralian orogeny and the East European platform. *Geokhimiya*, (7), 607-622. (In Russian)
- Shardakova G.Yu. (2017) Vendian-Cambrian granitoids of the western slope of the Urals: features of the composition, geodynamic settings, sources, problems [Granites and the Earth's Evolution: the Mantle and the Crust in Granite Origin. Proceedings of the 3rd Int. geol. conf]. Ekaterinburg, IGG UB RAS Publ., 341-343.
- Shardakova G.Yu., Saveliev V.P., Puzhakov B.A., Petrov V.I. (2015) New data on the chemical composition and age of the rocks of Kozlinogorsk complex. *Ezhegodnik-2014, Proc. IGG UrO RAS*, **162**, 148-154. (In Russian)
- Shuyskiy A.S., Udoratina O.V., Meng Fancong, Geng Jizhen (2017) Riftogenic A-type granites of the Polar Urals: new data problems. [Granites and the Earth's Evolution: the Mantle and the Crust in Granite Origin. Proc. 3rd Int. geol. conf.] Ekaterinburg, 361-363.
- Simakov G.V. (1972) Intrusive rocks at the headwater of the Pechora River, the North Urals. *Trudy VII Geologicheskoi konferentsii Komi ASSR* [Proc. VII geol. conf. Komi ASSR] Syktyvkar, Komi Branch, Academy of Sciences USSR, 121-123. (In Russian).
- Smith R.B., Jordan M., Steinberger B., Puskas C.M. Farrell J., Waite G.P., Husen S., Wulung Chang, O'Conner R. (2009) Geodynamics of the Yellowstone hotspot and mantle plume: seismic and GPS imaging, kinematics, and mantle flow. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **188**, 26-56.
- Snachev A.V., Puchkov V.N., Snachev V.I., Romanovskaya M.A. (2018) Petrogeochemical features and conditions of crystallization of monzodiorite-granite massifs of the Plast area. *Vestn. MGU, Ser. Geol.* In print. (In Russian)
- Soboleva A.A., Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Vasiliev A.V. (2010) The green schists of the Lemva zone. *Vestn. IG KNC RAS*, **1**, 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 Western Slope of the Southern Urals. *Moscow University Geol. Bull.*, **70**(4), 338-349.
- Tevelev Al.V., Kosheleva I.A., Furina M.A., Belyatskiy B.V. (2009) Triassic magmatism of the Middle and Southern Urals: geochemistry, isotopic geology, geodynamics. *Vestn. MGU, Ser. Geol.*, **2**, 29-38. (In Russian)
- 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, 300-303.
- Vernikovskiy V.A., Pease V.I., Vernikovskaya A.E., Romanov A.P., Travin A.V. (2003) First report of Early Triassic A-type granite and syenite intrusions from Taymyr: product of the northern Eurasian superplume. *Lithos*, **66**, 23-36.
- 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**, 158-179.